

**SINTESIS ZEOLIT DARI ABU DASAR BATUBARA DENGAN VARIASI  
WAKTU KALSINASI SECARA HIDROTERMAL DAN UJI ADSORPSI  
TERHADAP LOGAM Cd (II)**

**Skripsi  
Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S-1**

**Program Studi Kimia**



**Oleh:  
Hargian Saputro  
10630023**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2015**



### SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk, dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Hargian Saputro

NIM : 10630023

Judul Skripsi : Sintesis Zeolit dari Abu Dasar Batubara dengan Variasi Waktu Kalsinasi Abu Dasar Secara Hidrotermal Dan Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cd(II) sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut diatas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami menyampaikan terimakasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 15 Januari 2015

Pembimbing,

Khamidinal, M.Si

NIP. 19691104 200003 1 002



**SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Hal : Nota Dinas Konsultan Skripsi  
Lamp :-

Kepada  
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*


Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku konsultan berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Hargian Saputro  
NIM : 10630023  
Judul Skripsi : Sintesis Zeolit Dari Abu Dasar Batubara Dengan Variasi Waktu Kalsinasi Secara Hidrotermal Dan Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cd (II)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang kimia.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 6 Februari 2015  
Konsultan

  
Irwan Nugraha, M.Sc  
19820329 201101 1 005



**SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Hal : Nota Dinas Konsultan Skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku konsultan berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Hargian Saputro

NIM : 10630023

Judul Skripsi : Sintesis Zeolit Dari Abu Dasar Batubara Dengan Variasi Waktu Kalsinasi Secara Hidrotermal Dan Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cd (II)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang kimia.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 6 Februari 2015

Konsultan

Endaruji Sedyadi, M.Sc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hargian Saputro  
NIM : 10630023  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul :

**Sintesis Zeolit dari Abu Dasar Batubara dengan Variasi Waktu Kalsinasi  
Secara Hidrotermal Dan Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cd(II)**

Adalah asli hasil penelitian saya sendiri dan bukan plagiasi hasil karya orang lain.

Yogyakarta, 16 Januari 2015

Yang menyatakan



Hargian Saputro  
NIM. 10630023



**PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/469/2015

Skrripsi/Tugas Akhir dengan judul : Sintesis Zeolit dari Abu Dasar Batubara dengan Variasi Waktu Kalsinasi Secara Hidrotermal dan Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cd(II)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :  
Nama : Hargian Saputro  
NIM : 10630023  
Telah dimunaqasyahkan pada : 29 Januari 2015  
Nilai Munaqasyah : A -  
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

**TIM MUNAQASYAH :**

Ketua Sidang

Khamidinal, M.Si  
NIP.19691104 200003 1 002

Penguji I

Irwan Nugraha, M.Sc  
NIP.19820329 201101 1 005

Penguji II

Endaruji Sedyadi, M.Sc

Yogyakarta, 6 Februari 2015  
UIN Sunan Kalijaga  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Pekan



Khamidinal, M.Si  
NIP.19691104 200003 1 002

## MOTTO

**“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”**

(QS. Alam Nasyroh: 5)

**“Allah senantiasa menolong seorang hamba selama hamba tersebut menolong saudaranya”**

( HR. Muslim )

**“Ada yang mengeluh ingin gugur dan jatuh, lalu berkata lelah. Ada yang lelah, tubuhnya penat, tapi semangatnya kuat dan dia berkata LILLAH”**

( Anonim )

**“Hidup adalah perjalanan singkat yang penuh perjuangan ”**

**“Kegagalan adalah bumbu dari sebuah perjuangan”**

**“Ngono yo ngono, tur ojo ngono”**

( Pepatah jawa )

**“You’ll never walk alone ”**

## **PERSEMBAHAN**

Karya ini aku persembahkan untuk:

Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunia-Nya

Karya ini juga aku peruntukkan kepada :

Bapak, Ibu dan Adik atas dukungan dan doa selama ini

Seluruh sahabat yang telah membantu dalam penyelesaian tugas  
akhir ini

Almamatrku...

Prodi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta



## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat, rezeki, inayah dan karunia-Nya, sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah limpahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, Nabi yang menjadi sauri tauladan bagi kita semua.

Dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari semua pihak yang telah memberikan bimbingan, bantuan, saran, dan nasihat. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. H. Akh. Minhaji, MA, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Esti Wahyu Widowati, M.Si., M.Biotech., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Khamidinal, M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, dan masukan selama proses penulisan skripsi.
4. Ibu Maya Rahmayanti, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik.
5. Dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. Seluruh staf karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam urusan administrasi.

7. Bapak A. Wijayanto, S.Si., Bapak Indra Nafiyanto, S.Si., dan Ibu Isnı Gustanti, S.Si selaku Laboran Laboratorium Kimia yang telah melayani dan mengajari cara pemakaian peralatan Laboratorium selama proses penelitian.
8. Ibu, bapak, adik dan keluarga besar yang selalu mendo'akan. Terima kasih yang tak terhingga atas segala dukungannya selama ini.
9. Rekan-rekan seperjuangan penelitian (Tofidul Lukman, Willy A, Novi S, Putri Apriana, Muh Nor Salman, dan Ratu Paramita) yang telah membantu dan bekerjasama selama proses penelitian.
10. Teman-teman Program Studi Kimia angkatan 2010. Terima kasih atas kerjasama dan kebersamaannya selama ini.
11. Siti Mahmudha. Terimakasih atas doanya untuk kelancaran penelitian ini.
12. Semua pihak yang telah banyak membantu selama perkuliahan maupun penelitian. Semoga kebaikan kalian dibalas oleh Allah S.W.T.

Kesempurnaan hanya milik Allah S.W.T. Dengan segala rendah hati penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk melengkapi sebuah karya yang masih banyak kekurangan ini. Semoga karya tulis ini dapat menjadi sumber ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN NOTA DINAS KONSULTAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
MOTTO .....	viii
PERSEMBAHAN .....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
ABSTRAK .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Batasan Masalah .....	3
C. Rumusan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b>	
A. Tinjauan Pustaka .....	5
B. Landasan Teori .....	7
1. Abu Dasar Batubara .....	7
2. Kalsinasi .....	9
3. Zeolit .....	9
4. Sintesis Zeolit .....	12
5. <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i> .....	16
6. Spektroskopi FTIR .....	16
7. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	17
8. <i>Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)</i> .....	19
9. Adsorpsi .....	21
10. Isoterm Adsorpsi .....	22
11. Kinetika Adsorpsi .....	24
12. Logam Kadmium (Cd).....	25

<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	27
B. Alat-alat Penelitian .....	27
C. Bahan-bahan Penelitian .....	27
D. Cara Kerja Penelitian .....	28
1. Preparasi Awal Abu Dasar Batubara dan Kalsinasi .....	28
2. Peleburan dengan NaOH .....	28
3. Sintesis Zeolit .....	28
4. Uji Adsorpsi Logam Cd .....	29
a. Penentuan pH Optimum .....	29
b. Penentuan Waktu Kontak Optimum .....	29
c. Penentuan Konsentrasi Awal Larutan Cu(II) .....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Karakterisasi XRF ( <i>X-Ray Fluorescence</i> ) pada Abu Dasar .....	31
B. Karakterisasi FTIR .....	32
C. Karakterisasi XRD .....	35
1. Abu dasar .....	36
2. Zeolit sintesis .....	37
D. Uji Adsorpsi Logam Cd .....	41
1. Penentuan pH optimum .....	41
2. Penentuan waktu kontak optimum .....	42
3. Penentuan konsentrasi optimum .....	43
E. Kinetika Adsorpsi .....	45
F. Isoterm Adsorpsi .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan .....	51
B. Saran .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	52
LAMPIRAN .....	57

## DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Struktur umum kerangka dasar zeolit (a) $TO_4$ tertrahedral tunggal (b) $TO_4$ tetrahedral yang dihubungkan oleh atom oksigen .....	10
Gambar 2.2	Komponen-komponen sebuah AAS.....	20
Gambar 2.3	Pengaruh pH terhadap spesiasi logam Cd.....	26
Gambar 4.1	Spektra FTIR dari zeolit hasil sintesis dengan variasi waktu kalsinasi 2 jam (ZK2), 4 jam (ZK4) dan 6 jam (ZK6) .....	33
Gambar 4.2	Difraktogram abu dasar batubara .....	36
Gambar 4.3	Perbandingan pola difraksi sinar-x dari zeolit hasil sintesis yaitu ZK2, ZK4 dan ZK6 .....	38
Gambar 4.4	Grafik pengaruh pH larutan terhadap absorpsi logam Cd...	41
Gambar 4.5	Grafik pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi logam Cd .....	43
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara konsentrasi awal larutan Cd dengan % adsorpsi .....	44
Gambar 4.7	Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde pertama .....	45
Gambar 4.8	Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde kedua .....	45
Gambar 4.9	Grafik isoterm Langmuir pada adsorben: (a) abu dasar dan (b) zeolit sintesis.....	48
Gambar 4.10	Grafik isoterm Freundlich pada adsorben: (a) abu dasar dan (b) zeolit sintesis.....	49

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Unsur – unsur kimia abu dasar .....	8
Tabel 4.1 Komposisi kimia pada abu dasar batubara Madukismo .....	31
Tabel 4.2 Interpretasi spektra IR dan jenis vibrasi dari zeolit sintesis pada daerah IR-tengah .....	34
Tabel 4.3 Interpretasi spektra IR dan jenis vibrasi dari zeolit sintesis pada daerah bilangan gelombang $1600\text{ cm}^{-1}$ - $4000\text{ cm}^{-1}$ .....	35
Tabel 4.4 Interpretasi data XRD dari sampel abu dasar batubara .....	37
Tabel 4.5 Interpretasi data XRD zeolit sintesis .....	40
Tabel 4.6 Model kinetika adsorpsi abu dasar dan zeolit sintesis .....	46
Tabel 4.7 Model isoterm adsorpsi abu dasar dan zeolit sintesis.....	50



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan Kadar Karbon .....	57
Lampiran 2. Perhitungan Variasi pH .....	58
Lampiran 3. Perhitungan Pada Variasi Waktu Kontak dan Penentuan Pseudo Orde Reaksi .....	60
Lampiran 4. Perhitungan Pada Variasi Waktu Kontak dan Penentuan Isoterm Adsorpsi .....	64
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Abu Dasar Menggunakan XRD .....	71
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Zeolit Sintesis Menggunakan FTIR dan XRD .....	72
Lampiran 7. JCPDS untuk Kuarsa, Mulit, Hematit, Zeolit A, Zeolit X, Zeolit Y dan Zeolit Faujasit .....	76
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian .....	80



## ABSTRAK

### SINTESIS ZEOLIT DARI ABU DASAR BATUBARA DENGAN VARIASI WAKTU KALSINASI SECARA HIDROTERMAL DAN UJI ADSORPSI TERHADAP LOGAM Cd (II)

Oleh:

Hargian Saputro

10630023

Dosen Pembimbing: Khamidinal, M.Si

---

Sintesis zeolit dari abu dasar batubara dengan metode peleburan-hidrotermal untuk adsorpsi logam Cd telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu kalsinasi abu dasar terhadap zeolit yang dihasilkan, serta mengetahui kapasitas adsorpsinya terhadap logam Cd.

Abu dasar yang digunakan sebagai bahan utama untuk sintesis zeolit dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD, kemudian dikalsinasi selama 2, 4, dan 6 jam. Sintesis zeolit dilakukan melalui peleburan menggunakan NaOH (rasio abu dasar/NaOH 1:1,2) pada suhu 750 °C selama 1 jam. Kristalisasi hidrotermal dilakukan pada suhu 100 °C selama 24 jam. Zeolit yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD. Uji adsorpsi logam Cd menggunakan abu dasar dan zeolit hasil sintesis. Uji adsorpsi yang dilakukan adalah penentuan pH optimum, penentuan waktu kontak optimum dan penentuan konsentrasi optimum. Selain itu, dikaji pula aspek kinetika dan isoterm adsorpsinya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu dasar mengandung kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dan mulit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ( $\text{Si}/\text{Al}=1,50$ ). Produk hidrotermal menunjukkan adanya serapan IR spesifik zeolit pada bilangan gelombang 987,55  $\text{cm}^{-1}$  (O-Si-O/O-Al-O) dan 439,77  $\text{cm}^{-1}$  (Si-O/Al-O). Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan telah terbentuk zeolit A, zeolit faujasit, zeolit X, dan zeolit Y. Persen adsorpsi optimum adsorpsi Cd yaitu pada pH 6, waktu 45 menit, dan konsentrasi 100 mg/L untuk abu dasar dan pH 5, waktu 60 menit, konsentrasi 100 mg/L untuk zeolit sintesis. Kinetika adsorpsi Cd pada zeolit dan abu dasar mengikuti model pseudo orde kedua, dengan konstanta laju ( $k_2$ ) masing-masing 0,004 g/mg.menit<sup>-1</sup> dan 0,007 g/mg.menit<sup>-1</sup>. Isoterm adsorpsi zeolit dan abu dasar terhadap Cd mengikuti model Langmuir dengan kapasitas adsorpsi maksimum ( $q_{\text{max}}$ ) masing-masing 1,219 x 10<sup>-3</sup> mol/g dan 1,085 x 10<sup>-3</sup> mol/g .

**Kata Kunci:** Abu dasar, kalsinasi, zeolit, peleburan-hidrotermal, logam Cd(II)



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Dewasa ini penggunaan batubara sebagai energi alternatif selain minyak dan gas bumi terus meningkat. Berbagai kalangan mulai beralih menggunakan batubara seiring dengan naiknya harga minyak dunia, seperti industri semen, industri tekstil, PLTU dan lain lain. Tingginya konsumsi batubara didukung dengan banyaknya sumber daya batubara di Indonesia.

Penggunaan batubara dapat menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan. Dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar batubara ini adalah pelepasan abu sisa pembakaran baik berupa abu dasar (*bottom ash*) maupun abu layang (*fly ash*). Abu layang adalah abu yang dihasilkan dari transformasi, pelelehan atau gasifikasi dari material anorganik yang terkandung dalam batubara (Molina dan Poole, 2004), sedangkan abu dasar adalah abu yang terbentuk di bawah tungku pembakaran. Pada satu proses pembakaran batubara dapat dihasilkan abu layang sekitar 90% dan abu dasar sekitar 10% (Supriatna, 2003).

Beberapa penggunaan abu yang didapatkan dari limbah batu bara adalah untuk pelapis dasar jalan raya, pengisi untuk bahan tambang dan galian, serta material bahan bangunan. Selain itu usaha lain dalam meningkatkan nilai tambah dari abu tersebut adalah mengubahnya menjadi zeolit. Zeolit memiliki bentuk kristal yang sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah yang menyebabkan luas permukaan zeolit sangat besar sehingga sangat baik digunakan sebagai adsorben (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

Penelitian untuk mengubah limbah abu layang menjadi zeolit telah banyak dilakukan. Berbagai jenis zeolit yang telah disintesis diantaranya adalah zeolit faujasit (Mondragon dkk., 1990), zeolit P dan Hidroksi-Sodalit (Berkgaut dan Singer, 1996), Zeolit A (Nikmah dkk, 2009) dan zeolit NaP1 (Hollman dkk., 1999). Alasan yang mendasari hal ini adalah karena kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tinggi pada abu layang (50-75 %) dibandingkan pada abu dasar (30-50 %). Dua jenis mineral tersebut mempunyai komponen dasar untuk pembuatan zeolit.

Pemanfaatan abu dasar sebagai bahan dasar pembuatan zeolit belum banyak dilakukan karena rendahnya kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Selain rendahnya kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , alasan masih minimnya penggunaan abu dasar dalam sintesis zeolit adalah abu dasar masih mengandung banyak sisa karbon yang dapat mengganggu dalam proses pembentukan zeolit (Nikmah dkk, 2009). Salah satu cara penghilangan karbon tersebut adalah dengan kalsinasi yaitu perlakuan panas terhadap satu bahan pada suhu yang relatif tinggi dalam tungku pemanas (Susanto, 2008).

Terdapat beberapa metode dalam sintesis zeolit, salah satunya adalah metode peleburan hidrotermal. Shigemoto dan Hayashi (1995) mengatakan bahwa sintesis zeolit melalui metode peleburan dilanjutkan dengan proses hidrotermal secara signifikan dapat meningkatkan proses pembentukan zeolit dibandingkan dengan metode alkali hidrotermal. Selain itu, zeolit yang dihasilkan memiliki kristalinitas yang tinggi.

Logam kadmium (II) merupakan ion logam berat yang berpotensi sebagai polutan bagi lingkungan perairan sehingga perlu diupayakan untuk

menurunkan kadarnya. Menurut Pearson (Shriver, 1990), ion Cd(II) adalah asam lunak sehingga lebih suka berinteraksi dengan basa lunak. Adsorpsi logam Cd dengan berbagai padatan baik alam maupun sintetik merupakan metode sederhana yang sering digunakan.

Berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini dilakukan sintesis zeolit dari abu dasar batubara dengan metode peleburan hidrotermal dan uji adsorpsinya terhadap logam Cd(II).

### **B. Batasan Masalah**

1. Abu dasar batubara yang digunakan berasal dari Pabrik Spiritus Madukismo Yogyakarta.
2. Metode yang digunakan pada sintesis zeolit adalah metode Peleburan Hidrotermal.
3. Variasi waktu kalsinasi abu dasar yang digunakan adalah 2 jam, 4 jam dan 6 jam.
4. Jenis basa yang digunakan adalah NaOH.
5. Jenis karakterisasi yang digunakan adalah karakterisasi gugus fungsional menggunakan Spektrofotometer FT-IR dan uji kristalinitasnya menggunakan Difraktometer Sinar-X.
6. Uji adsorpsi logam Cd(II) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

### **C. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana karakteristik zeolit hasil sintesis dari abu dasar batubara?

2. Bagaimana pengaruh variasi waktu kalsinasi abu dasar terhadap hasil sintesis zeolit?
3. Bagaimana kapasitas adsorpsi zeolit hasil sintesis terhadap logam Cd(II)?

#### **D. Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui karakteristik zeolit hasil sintesis dari abu dasar batubara.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi waktu kalsinasi abu dasar terhadap hasil sintesis zeolit.
3. Mengetahui kapasitas adsorpsi zeolit hasil sintesis terhadap logam Cd.

#### **E. Manfaat Penelitian**

1. Secara teoritis dapat memberikan informasi mengenai sintesis zeolit dari abu dasar batubara menggunakan variasi waktu kalsinasi abu dasar dengan metode Peleburan Hidrotermal dan uji adsorpsinya terhadap logam Cd(II).
2. Zeolit hasil sintesis diharapkan dapat diaplikasikan dalam adsorpsi limbah logam Cd(II).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

1. Sintesis zeolit dari abu dasar batubara dengan metode peleburan hidrotermal telah berhasil dilakukan dan didapatkan material zeolit yang mengandung zeolit A, zeolit faujasit, zeolit X dan zeolit Y.
2. Variasi waktu kalsinasi abu dasar sebagai bahan utama pembentukan zeolit berpengaruh terhadap intensitas difraksi dan homogenitas jenis kristal pada produk hidrotermal yang dihasilkan. Produk zeolit dengan homogenitas paling tinggi adalah ZK4 yaitu zeolit sintesis dengan waktu kalsinasi abu dasar selama 4 jam pada suhu 800 °C.
3. Pada penelitian ini didapatkan kapasitas adsorpsi maksimum dari zeolit terhadap logam Cd yaitu sebesar  $1,219 \times 10^{-3}$  mol/g, lebih tinggi dari kapasitas adsorpsi maksimum dari abu dasar yang sebesar  $1,085 \times 10^{-3}$  mol/g .

#### **B. Saran**

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada zeolit dari abu dasar batubara seperti dengan penambahan komposit pada zeolit yang dihasilkan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap karakteristik zeolit sintesis sebelum dan setelah adsorpsi menggunakan SEM

## DAFTAR PUSTAKA

- Albert, R.A. dan Silbey, R.J. 1992. *Physical Chemistry*. New York: John Willey
- Alfathoni, G. 2002. *Rahasia Untuk Mendapatkan Mutu Produk Karbon Aktif dengan Serapan Iodium di atas 1000mg/g*. <http://www.tepatgunatek.com>. Diakses pada tanggal 8 Desember 2013.
- Anielak, Anna M dan Schmidt Rafal. 2011. Sorption of Lead and Cadmium Cations on Natural and Manganese-Modified Zeolite. *Polish J. of Environ.* 1. 20. 15-19
- Atkins, P.W. 1999. *Kimia Fisika*. Ed ke-4. Jakarta: Erlangga.
- Beiser, Arthur. 1995. *Concepts of Modern Physics*. 3rd Edition. Jakarta: Erlangga.
- Bekum, H. V., Flanigen, E.M., Jansen, J.C. 1991. *Introduction to Zeolite Science Ana Practice*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Bergaut, V dan Singer, A., 1996. High capacity cation exchanger by hydrothermal zeolitization of coal fly ash. *Applied Clay Science*. 13. 117 – 135.
- Canpolat, F., Yilmaz, K., Köse, M.M., Sümer, M., dan Yurdusev, M.A. 2003. Use of Zeolite, Coal Bottom Ash and Fly Ash as Replacement Materials in Cement Production. *Cement and Concrete Research*. 23-24. 1-5.
- Chandrasekar, S. dan Pramada, P.N. 2008. Microwave Assisted Synthesis of Zeolite A from Metakaolin. *Microporous and Mesoporous Materials*. 108. 152–161.
- Chang, H.L., dan Shin, W.H. 1998. A General Methods for the Conversion of Fly Ash Into Zeolites as Ion Exchangers for Cesium. *Ind. Eng. Chem. Res.* 37. 1. 71-78.
- Chatwall, G. 1985. *Spectroscopy Atomic and Molecule*. Bombay :Himalaya Publishing House
- Chetam, D., A.. 1992. *Solid State Compound*. Oxford:Oxford university Press

- Chiang, Y.W., Ghyselbrecht, K., Santos, R.M., Meesschaert, B., Martens, J.A. 2012. Synthesis of zeolitic-type adsorbent material from municipal solid waste incinerator bottom ash and its application in heavy metal adsorption. *Catalysis Today*. 190. 23-30
- Darwanta. 1997. Kajian Penambahan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dalam Sintesis Zeolit 4A dari Abu Layang Batubara. *Skripsi*. Yogyakarta: Jurusan Kimia Fakultas MIPA UGM.
- Ewing, G.W. 1985. *Instrumental Method of Chemical Analysis*. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Faust, Samuel.D., dan Aly, Oesman.A. 1987. *Adsorption Processes for Water Treatment*. Stoneham: Butterworth Publishers. ISBN: 0-409-90000-1.
- Flanigen, E. M., H. Khatami., H. A. Szymanski. 1971. "Infrared Structural Studies of Zeolite Framework, Molecular Sieve Zeolite-I". *American Society Advanced in Chemistry Serise*. 101. 201 – 227.
- Flanigen, E.M., Broach, R.W. dan Wilson, S.T. 2010. *Zeolites in Industrial Separation Ana Catalysis*. Weinheim: Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA
- Gadd, G.M. 2000. Bioremedial Potential of Microbial Mevhanism of Metal Mobilization an Immobilization. *Current Opinion in Biotechnology*. 11. 271-279
- Hamdan, H. 1992. *Introduction to Zeolits: Synthesis, Characterization, and Modification*. Kuala Lumpur: University Teknologi. Malaysia
- Hammond, C. 1997. *The Basics of Crystallography and Diffraction*. Oxford: Oxford University Press.
- Harmita. 2006. *Analisis Fisika Kimia*. Jakarta: Departemen Farmasi FMIPA-UI
- Ho, Y. S., dan McKay, G. 1999. Pseudo-second Order Model for Sorption Processes. *Pro. Biochem*. 34. 451-465.
- Ho, Y.S. and McKay, G. 2000. The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. *Water Research*. 34. 3. 735-742.
- Hollman, G. G., Sreenbruggen, G., Janssen-Jurcovicova, M..1999. A Two Step Process for Synthesis of Zeolit from Coal Fly Ash. *Fuel*. 78. 1225-1230.

- Izidoro, Juliana de Carvalho, Fungaro, Denise Alves dan Wang, Shaobin. 2012. Zeolite synthesis from Brazilian coal fly ash for removal of Zn<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> from water. *Advanced Materials Research*. 356-360. 1900-1908
- James, S. R., 1988. *Introduction to The Principles of Ceramics Processing*. Singapore: John Wiley&Son
- Karthikeyan, G., Anbalagan, K., Andal, N.M. 2004. Adsorption Dynamics and equilibrium Studies of Zn(II) onto Chitosan. *Indian J. Chem. Sci.* 116. 2. 119-127.
- Khopkar. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta:Universitas Indonesia.
- Liu, Y., X. Chang, S. Wang, Y. Guo, B. Din, and S. Meng. 2004. Solid-phase extraction and preconcentration of cadmium(II) in aqueous solution with Cd(II)-imprinted resin (poly-Cd(II)-DAAB-VP) packed columns. *Analytica Chimica Acta*. 519. 2. 173-179.
- Londar Everista., Fansuri, Hamzah., dan Widiastuti, Nurul (2009). Pengaruh Karbon Terhadap Pembentukan Zeolit Dari Abu Dasar Dengan Metode Hidrotermal Langsung. *Makalah Seminar Nasional Kimia*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. Hal:71.
- Lucia, R., Martin, P., dan Eva, F. 2014. Radiocesium Adsorption by Zeolitic Materials Synthesized from Coal Fly Ash. *Nova Biolotechnica et Chimica* (2014) 13-1.
- Masel, Richard. 1996. *Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surface*. New York:John Wiley and Sons Inc
- Molina, A. dan Poole, C. (2004). A Comparative Study Using Two Methods To Produce Zeolites from Fly Ash. *Mineral Engineering*. 17. 167-173.
- Mondragon, F., Rincon, F., Sierra, L., Escobar, J., Ramirez dan John, F.1990. New Perspectives for Coal Ash Utilization: Synthesis of Zeolitic Materials. *Fuel*. 69
- Nikmah. S. R.A., Fansuri. H., Widiastuti. 2009. Pengaruh Suhu Hidrotermal pada Sintesis Zeolit dari Abu Dasar Bebas Sisa Karbon Secara Hidrotermal Langsung. *Makalah Seminar Nasional Kimia*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. Hal:177.
- Ojha, K., Sig, Y., dan Wha, S.A. 2004. Zeolit from fly ash: synthesis and characterization, bull, mater. *Indian Academy of Sciences*. 27. 555-564.



- Oscik, J. 1991. *Adsorbtion, Edition Cooper*. New York :John Wiley and Sons.
- Pacyna, J. M. 1987. *Atmospheric emissions of arsenic, cadmium, lead and mercury from high temperature processes in power generation and industry*. In : *Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in The Environment*. John Willy & Sons
- Palar, Heryando. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: PT. Rineka Cipta
- Pena. 2006. Hydrothermal Treatment of Bottom Ash from The Incineration of Municipal Solid Waste: Retention of Cs(I), Cd(II), Pb(II) and Cr(III). *J. Hazard Mater. B*. 129. 151-157.
- Shigemoto, N.Hayashi, H., Miyaura, K. 1993. Selective formation of Na-X Zeolite From Coal Fly Ash by Fusion With Sodium Hidroxiidde Prior to Hydrothermal Reaction. *J. Mater. Sci*. 28. 4781-4786.
- Skoog, O.A. 1985. *Principles of Instrumental Analysis. Edisi 3*. USA: Sounders Collage Publishing.
- Supriatna, Uus. 2003. *Dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pengelolaan Lingkungan PLTU*. PT Indorama Synthetics: Purwakarta
- Surjaatmaja, V., Winandyo, M., Dan Setia, B.S. 2013. Pemisahan Karbon Tidak Terbakar dari Abu Terbang dengan Menggunakan Sistem Dissolved Air Flotation (DAF) untuk Meningkatkan Kualitas Abu Terbang. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2. 3. 115-120.
- Sutarti, Mursi dan Rachmawati. 1994. *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Jakarta :LIPI
- Underwood, A.L. dan Day, R.A.1992.*Kimia Analisis kuantitatif*. Jakarta: Erlangga
- Vaughan, D. 1999. *Crystal Engineering: The Design and Application of Functional Solid*. Kluwer. Netherlands: Academic Publishers.
- Wahyuni, S dan Widiastuti, N. 2010. *Adsorpsi Ion Logam Zn(II) Pada Zeolit A Batch*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Warsito, Sri., M.Si, Sriatun., S.Si, Taslimah Dra. 2007. Pengaruh Penambahan Surfaktan Cetyltrimethylammonium bromide (n-CTMABr) Pada Zeolit-Y. *Kimia Anorganik*. Jurusan Kimia Fak. MIPA. Universitas Diponegoro. Semarang

- West, A.R. 1984. *Solid State Chemistry and Its Applications*. John Wiley & Sons: New York. Pages: 41-43.
- Widowati, W., Sastiono, A dan Jusuf R. 2008. *Efek Toksik Logam*. Yogyakarta: Andi
- Xu, Ruren., Pang, Wenqill., Yu, Jihong., Huo, Qisheng., Chen, Jiesheng. 2007. *Chemistry of Zeolit and Related Porous Materials: Synthesis and Structure*. Singapore: John Wiley&Sons. ISBN: 978-0-470-82233-3.
- Zakaria, Ahmad. 2011. Adsorpsi Logam Cu(II) Menggunakan Zeolit Sintesis dari Abu Terbang Batubara. *Tesis*. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Perhitungan Kadar Karbon

Diketahui : Massa abu dasar : 30 gram

Suhu kalsinasi : 900 °C

Waktu kalsinasi : 2 jam

Tabel 1. Hasil perhitungan massa karbon dalam abu dasar batubara dalam dua kali pengulangan

No	W <sub>0</sub> (gram)	W <sub>1</sub> (gram)	W <sub>2</sub> (gram)	LOI (%)	Massa C hitung (gram)	Massa C hitung (%)
1	49,255	79,255	75,464	4,784	1,305	4,349
2	56,115	86,114	82,216	4,527	1,235	4,115
	Rata-rata			4,656	1,270	4,232

Keterangan: W<sub>0</sub> = Massa cawan kosong

W<sub>1</sub> = Massa cawan + abu dasar sebelum dikalsinasi

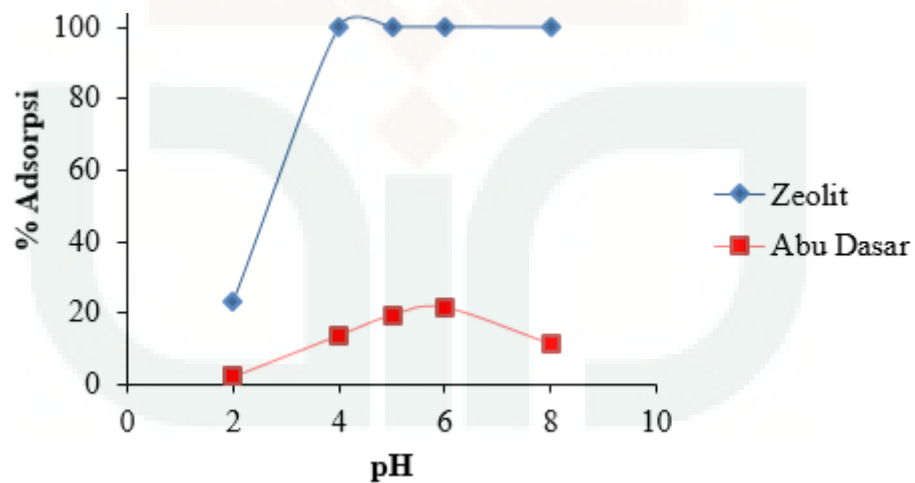
W<sub>2</sub> = Massa cawan + abu dasar setelah dikalsinasi

## Lampiran 2. Perhitungan Pada Variasi pH

Volume larutan Cu(II) = 10 mL

Tabel 2. Hasil perhitungan pada variasi pH

Adsorben	pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Cu teradsorp (mg/L)	% Adsorpsi
Zeolit sintesis	2	107,183	82,181	25,002	23,327
	4	107,183	0,133	107,050	99,876
	5	107,183	0,068	107,115	99,937
	6	107,183	0,093	107,090	99,913
	8	107,183	0,164	107,019	99,847
Abu dasar	2	12,027	11,759	0,268	2,228
	4	12,027	10,371	1,656	13,769
	5	12,027	9,694	2,333	19,398
	6	12,027	9,435	2,592	21,552
	8	12,027	10,65	1,377	11,449

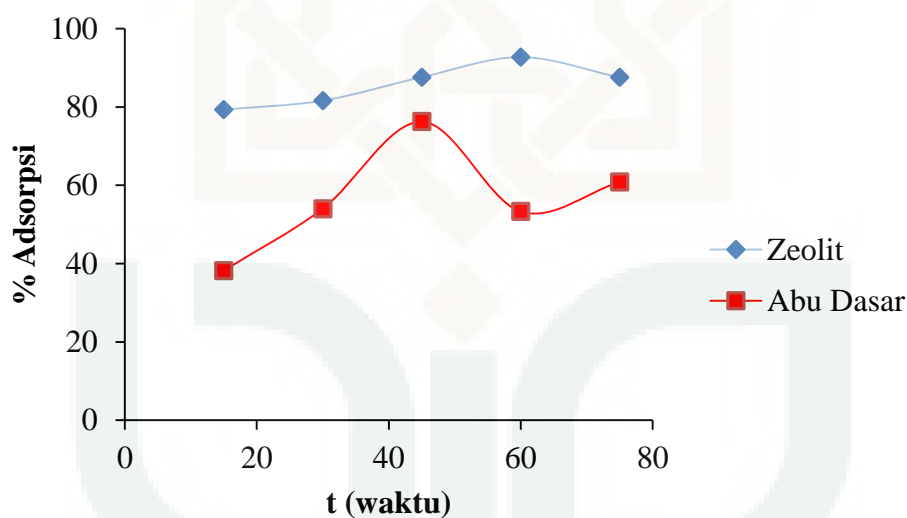


Gambar 1. Grafik hubungan antara pH dengan % adsorpsi

### Lampiran 3. Perhitungan Pada Variasi Waktu Kontak dan Penentuan Pseudo Orde Reaksi

Tabel 3. Hasil perhitungan pada variasi waktu

Adsorben	Waktu (menit)	Volume (L)	Massa adsorben (gram)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	% Adsorpsi
Abu Dasar	15	0,01	0,01	31,312	11,948	38,158
	30	0,01	0,01	31,312	16,908	53,997
	45	0,01	0,01	31,312	23,884	76,279
	60	0,01	0,01	31,312	16,682	53,278
	75	0,01	0,01	31,312	19,049	60,837
Zeolit sintesis	15	0,01	0,01	88,100	29,373	79,300
	30	0,01	0,01	88,100	29,373	81,603
	45	0,01	0,01	88,100	29,373	87,603
	60	0,01	0,01	88,100	29,373	92,721
	75	0,01	0,01	88,100	29,373	87,539



Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu kontak dengan % adsorpsi

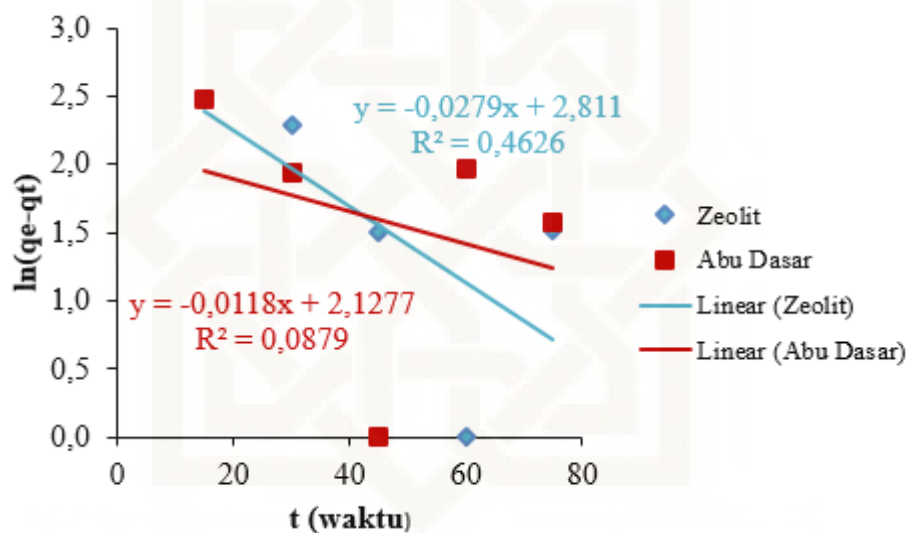
Tabel 4. Penentuan orde reaksi pada adsorben abu dasar

t (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	qt (mg/g)	qe-qt	ln (qe-qt)	t/qt
15	31,312	19,364	23,884	11,948	11,936	2,480	1,255
30	31,312	14,404	23,884	16,908	6,976	1,943	1,774
45	31,312	7,428	23,884	23,884	0,000	0,000	1,884
60	31,312	14,630	23,884	16,682	7,202	1,974	3,597
75	31,312	12,263	23,884	19,049	4,835	1,576	3,937

Tabel 5. Penentuan orde reaksi pada adsorben zeolit sintesis

Waktu (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	qt (mg/g)	qe-qt	ln(qe-qt)	t/qt
15	88,100	18,237	81,687	69,863	11,824	2,470	0,215
30	88,100	16,208	81,687	71,892	9,795	2,282	0,417
45	88,100	10,922	81,687	77,178	4,509	1,506	0,583
60	88,100	6,413	81,687	81,687	0,000	0,000	0,735
75	88,100	10,978	81,687	77,122	4,565	1,518	0,972

### a. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Pertama



Gambar 3. Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde pertama

#### 1. Adsorben Abu Dasar

##### Persamaan Lagergren:

$$\ln(qe-qt) = \ln qe - k_1 t$$

$$\ln(qe-qt) = -k_1 t + \ln qe$$

Persamaan garis lurus  $y = -0,0118x + 2,1277$ , maka:

$$y = \ln(qe-qt) \text{ (mg/g).}$$

$$x = t \text{ (menit).}$$

$$-k_1 = -0,0118$$

$$k_1 = 0,0118 \text{ menit}^{-1}.$$

$$\ln q_e = 2,1277$$

$$q_e = 8,396 \text{ mg/g.}$$

## 2. Adsorben Zeolit Sintesis

### Persamaan Lagergren:

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

$$\ln (q_e - q_t) = -k_1 t + \ln q_e$$

Persamaan garis lurus  $y = -0,0279x + 2,811$ , maka:

$$y = \ln (q_e - q_t) \text{ (mg/g).}$$

$$x = t \text{ (menit).}$$

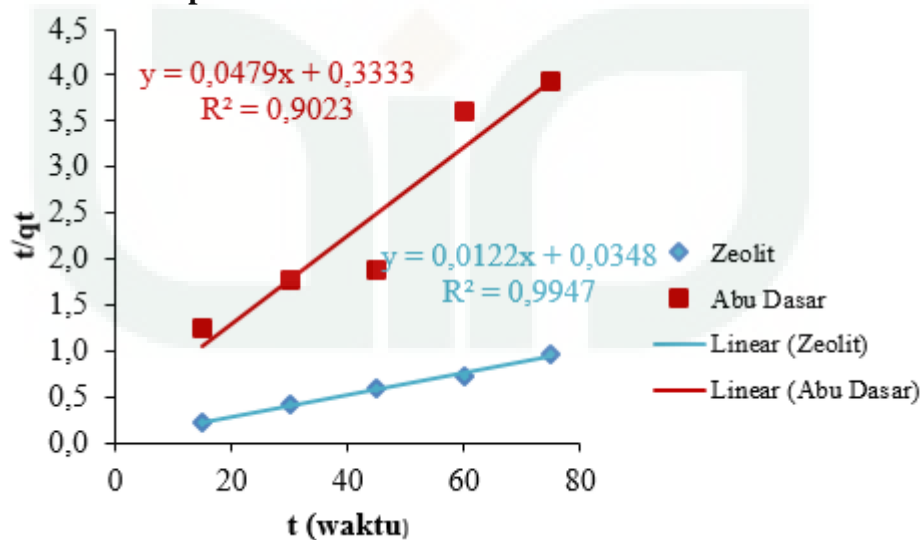
$$-k_1 = -0,0279$$

$$k_1 = 0,0279 \text{ menit}^{-1}.$$

$$\ln q_e = 2,811$$

$$q_e = 16,626 \text{ mg/g.}$$

### b. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Kedua



Gambar 4. Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde kedua

### 1. Adsorben Abu Dasar

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e} t + \frac{1}{k_2 q_e^2}$$

Persamaan garis lurus  $y = 0,0479x + 0,3333$ , maka:

$$y = \frac{t}{q_t} \text{ (menit.g/mg)}$$

$$x = t \text{ (menit)}$$

$$\frac{1}{q_e} = 0,0479$$

$$q_e = 20,876 \text{ mg/g.}$$

$$\frac{1}{k_2 q_e^2} = 0,3333$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{q_e^2} = 0,3333$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(20,876)^2} = 0,3333$$

$$\frac{1}{(435,807)k_2} = 0,3333$$

$$k_2 = \frac{1}{(435,807)(0,3333)}$$

$$k_2 = 0,007 \text{ g/mg.menit}^{-1}$$

### 2. Adsorben Zeolit Sintesis

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e} t + \frac{1}{k_2 q_e^2}$$

Persamaan garis lurus  $y = 0,0122x + 0,0346$ , maka:

$$y = \frac{t}{q_t} \text{ (menit.g/mg)}$$



$$x = t \text{ (menit)}$$

$$\frac{1}{q_e} = 0,0122$$

$$q_e = 81,967 \text{ mg/g.}$$

$$\frac{1}{k_2 q_e^2} = 0,0346$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{q_e^2} = 0,0346$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(81,967)^2} = 0,0346$$

$$\frac{1}{(6718,589)k_2} = 0,0346$$

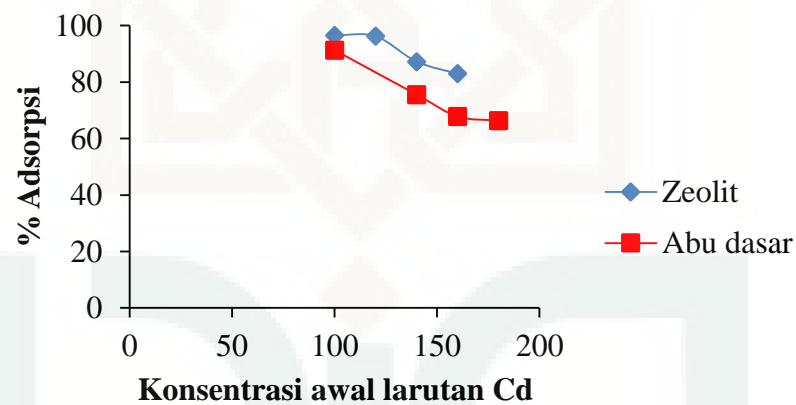
$$k_2 = \frac{1}{(6718,589)(0,0346)}$$

$$k_2 = 0,004 \text{ g/mg.menit}^{-1}$$

#### Lampiran 4. Perhitungan Pada Variasi Konsentrasi dan Penentuan Isoterm Adsorpsi

Tabel 6. Hasil perhitungan pada variasi konsentrasi

Adsorben	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Cu teradsorp (mg/L)	% Adsorpsi
Abu Dasar	100	8,669	91,331	91,331
	140	34,243	105,757	75,541
	160	51,490	108,510	67,819
	180	60,620	119,380	66,322
Zeolit sintesis	100	3,460	96,540	96,540
	120	4,497	115,503	96,253
	140	17,854	122,146	87,247
	160	27,210	132,790	82,994

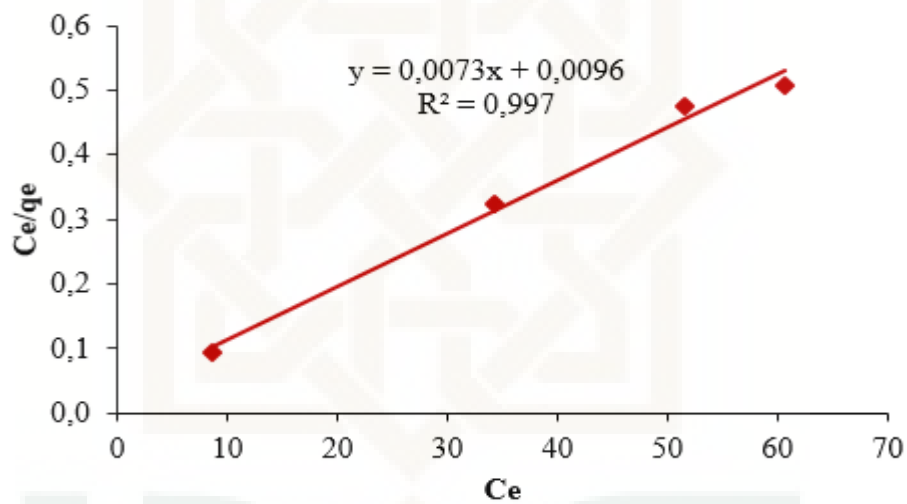


Gambar 5. Grafik hubungan antara konsentrasi awal larutan Cu dengan % adsorpsi

## 1. Adsorben Abu Dasar

Tabel 7. Penentuan isoterm adsorpsi pada adsorben abu dasar

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Volume larutan Cu (L)	Massa adsorben (gram)	qe (mg/g)	Ce/qe (mg/g)	log Ce	log qe
100	8,669	0,01	0,01	91,331	0,095	0,938	1,961
140	34,243	0,01	0,01	105,757	0,324	1,535	2,024
160	51,490	0,01	0,01	108,510	0,475	1,712	2,035
180	60,620	0,01	0,01	119,380	0,508	1,783	2,077



Gambar 6. Grafik isoterm Langmuir pada adsorben abu dasar

### Persamaan Langmuir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{K_L q_{max}}$$

Persamaan garis lurus:  $y = 0,0082x + 0,0327$

$$\text{Satuan slope} = \frac{dy}{dx} = \frac{C_e/q_e}{C_e} = \frac{g/L}{mg/L} = g/mg$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{q_{max}} = 0,0082 \text{ g/mg}$$

$$q_{max} = 121,951 \text{ mg/g}$$

$$q_{max} = \frac{121,951 \text{ mg/g}}{112,411 \text{ g/mol}}$$

$$q_{\max} = 1,085 \text{ mmol/g} = 1,085 \times 10^{-3} \text{ mol/g}$$

$$\text{Satuan intercept} = \text{sumbu } y = \frac{C_e}{q_e} = \frac{\text{mg/L}}{\text{mg/g}} = \text{g/L}$$

$$\text{Intercept} = \frac{1}{K_L q_{\max}} = 0,0327 \text{ g/L}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{0,0327 \text{ g/L}}{1/q_{\max}}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{0,0327 \text{ g/L}}{0,0082 \text{ g/mg}}$$

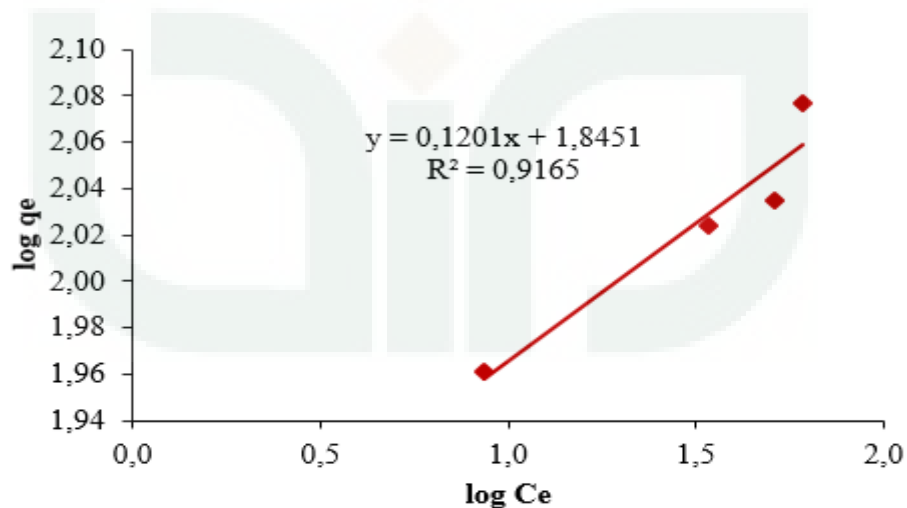
$$0,0327 \text{ g/L} \times K_L = 0,0082 \text{ g/mg}$$

$$K_L = \frac{0,0082 \text{ g/mg}}{0,0327 \text{ g/L}}$$

$$K_L = 0,251 \text{ mg/L}$$

$$K_L = \frac{0,251 \text{ mg/L}}{112,411 \text{ g/mol}}$$

$$K_L = 2,233 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$



Gambar 7. Grafik isoterm Freundlich pada adsorben abu dasar

#### Persamaan Freundlich:

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F$$

Persamaan garis lurus :  $y = 0,1201x + 1,8451$

$$\text{Slope} = \frac{1}{n} = 0,1201$$

$$n = 8,326$$

$$n = \frac{8,326 \text{ g/L}}{112,411 \text{ g/mol}}$$

$$n = 0,074 \text{ mol/L}$$

*Intercept* =  $q_e = \text{mg/g}$

$$\text{Log } K_F = 1,8451$$

$$K_F = 10^{1,8451}$$

$$K_F = 70$$

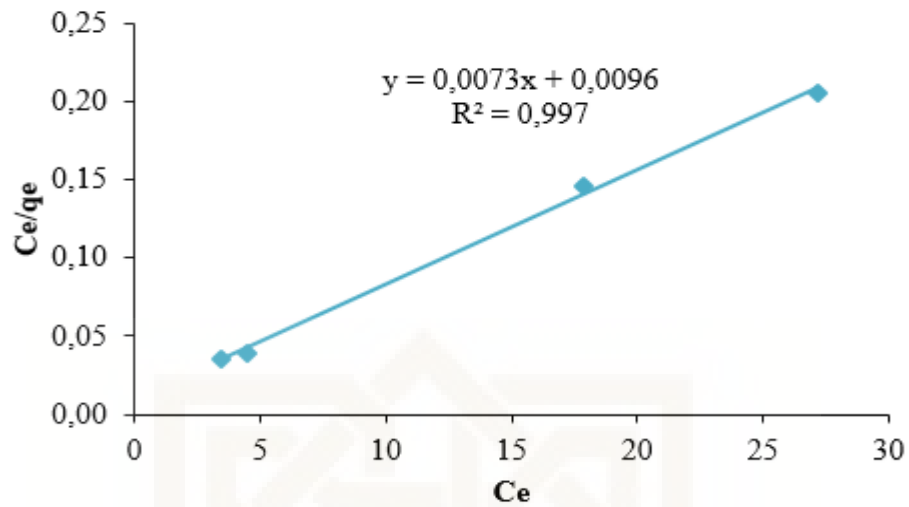
$$K_F = \frac{70}{112,411}$$

$$K_F = 0,623 \times 10^{-3}$$

## 2. Adsorben Zeolit Sintesis

Tabel 8. Penentuan isoterm adsorpsi pada adsorben zeolit sintesis

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Volume larutan Cu (L)	Massa adsorben (gram)	q <sub>e</sub> (mg/g)	Ce/q <sub>e</sub> (mg/g)	log Ce	log q <sub>e</sub>
100	3,460	0,01	0,01	96,540	0,036	0,539	1,985
120	4,497	0,01	0,01	115,503	0,039	0,653	2,063
140	17,854	0,01	0,01	122,146	0,146	1,252	2,087
160	27,210	0,01	0,01	132,790	0,205	1,435	2,123



Gambar 8. Grafik isoterm Langmuir pada adsorben zeolit sintesis

### Persamaan Langmuir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{K_L q_{max}}$$

Persamaan garis lurus:  $y = 0,0073x + 0,0096$

$$\text{Satuan slope} = \frac{dy}{dx} = \frac{C_e/q_e}{C_e} = \frac{\text{g/L}}{\text{mg/L}} = \text{g/mg}$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{q_{max}} = 0,0073 \text{ g/mg}$$

$$q_{max} = 136,986 \text{ mg/g}$$

$$q_{max} = \frac{136,986 \text{ mg/g}}{112,411 \text{ g/mol}}$$

$$q_{max} = 1,219 \times 10^{-3} \text{ mol/g}$$

$$\text{Satuan intercept} = \text{sumbu } y = \frac{C_e}{q_e} = \frac{\text{mg/L}}{\text{mg/g}} = \text{g/L}$$

$$\text{Intercept} = \frac{1}{K_L q_{max}} = 0,0096 \text{ g/L}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{0,0096 \text{ g/L}}{1/q_{max}}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{0,0096 \text{ g/L}}{0,0073 \text{ g/mg}}$$

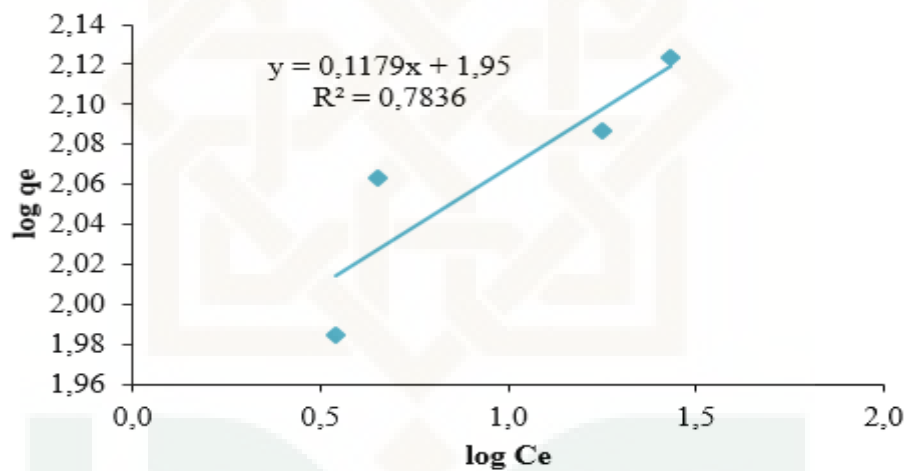
$$0,0096 \text{ g/L} \times K_L = 0,0073 \text{ g/mg}$$

$$K_L = \frac{0,0073 \text{ g/mg}}{0,0096 \text{ g/L}}$$

$$K_L = 0,76 \text{ mg/L}$$

$$K_L = \frac{0,76 \text{ mg/L}}{112,411 \text{ g/mol}}$$

$$K_L = 6,761 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$



Gambar 9. Grafik isoterm Freundlich pada adsorben zeolit sintesis

#### Persamaan Freundlich:

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F$$

Persamaan garis lurus :  $y = 0,1179 x + 1,95$

$$\text{Slope} = \frac{1}{n} = 0,1179$$

$$n = 8,482$$

$$n = \frac{8,482 \text{ g/L}}{112,411 \text{ g/mol}}$$

$$n = 0,075 \text{ mol/L}$$

*Intercept* =  $q_e = \text{mg/g}$

$\text{Log } K_F = 1,95$

$$K_F = 10^{1,95}$$

$$K_F = 89,125$$

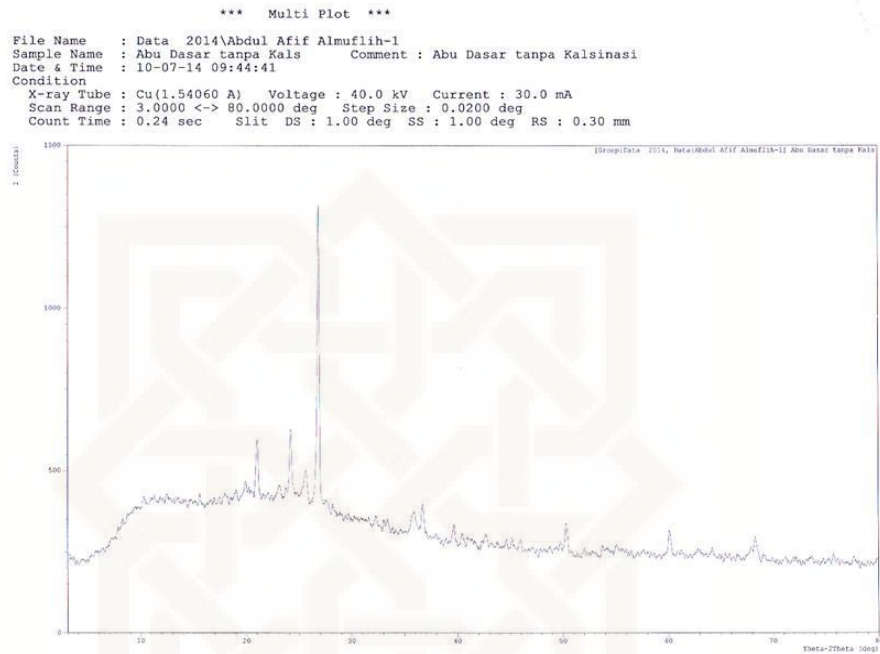
$$K_F = \frac{89,125}{112,411}$$

$$K_F = 0,793 \times 10^{-3}$$



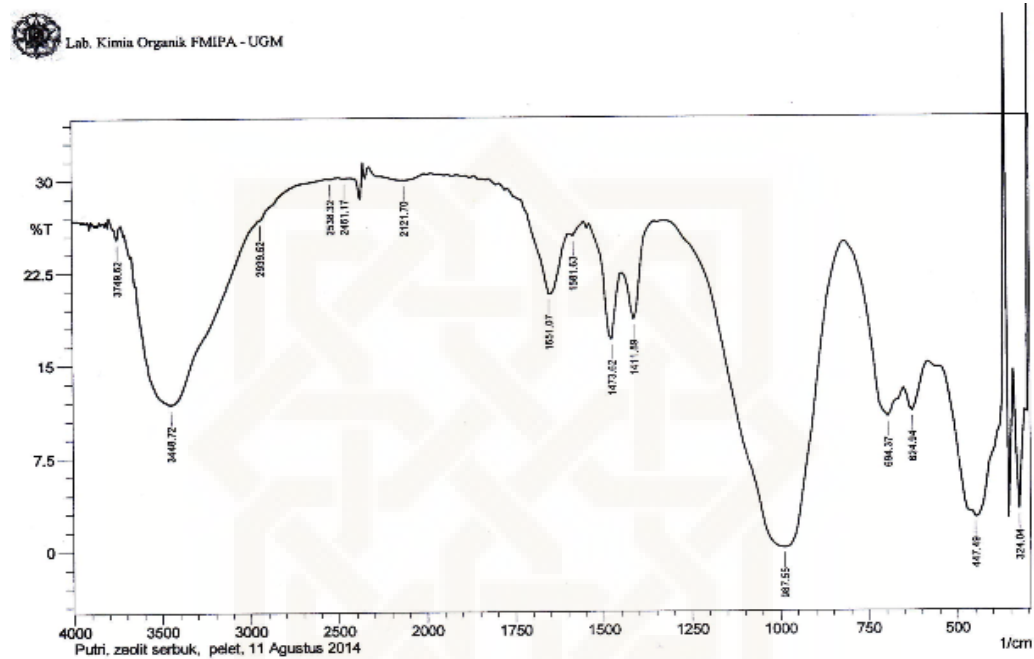


## Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Abu Dasar Batubara Menggunakan XRD

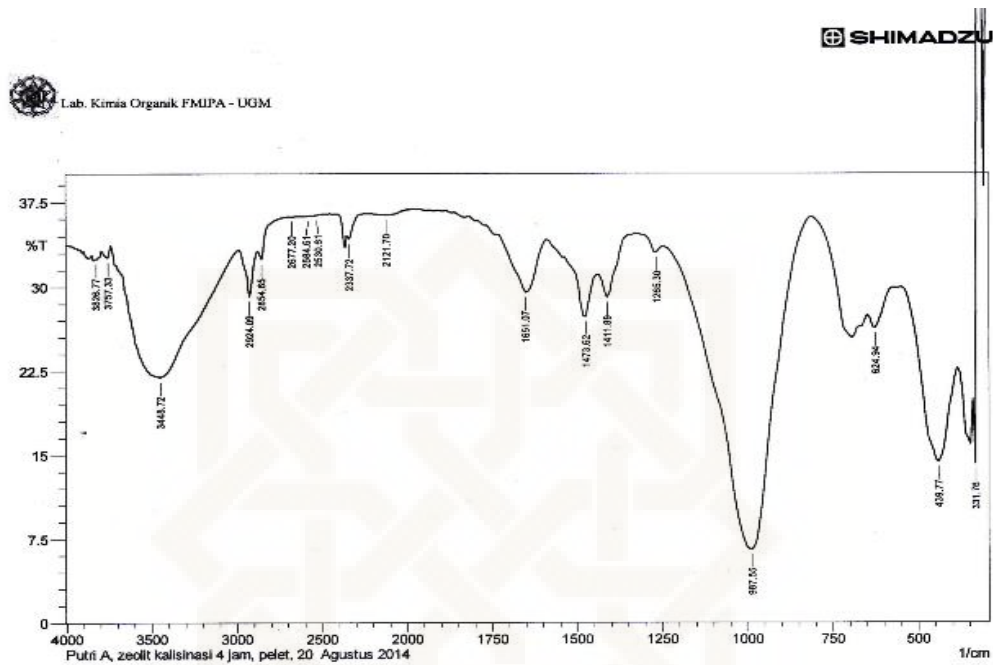


## Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Zeolit Sintesis Menggunakan FTIR dan XRD

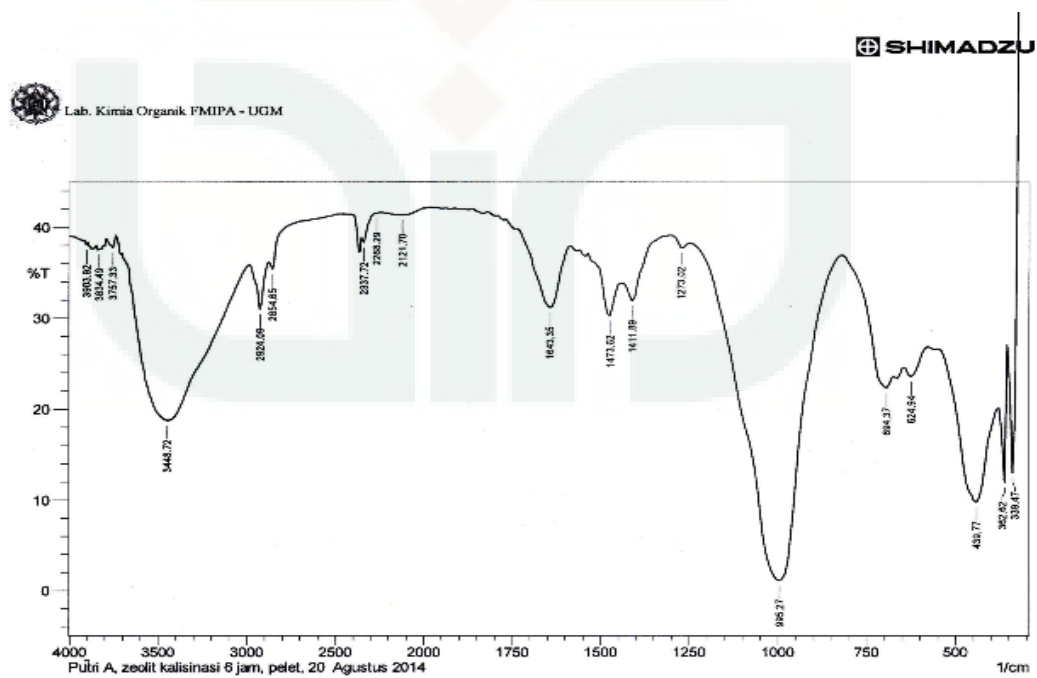
### a. Spektra IR Zeolit ZK2



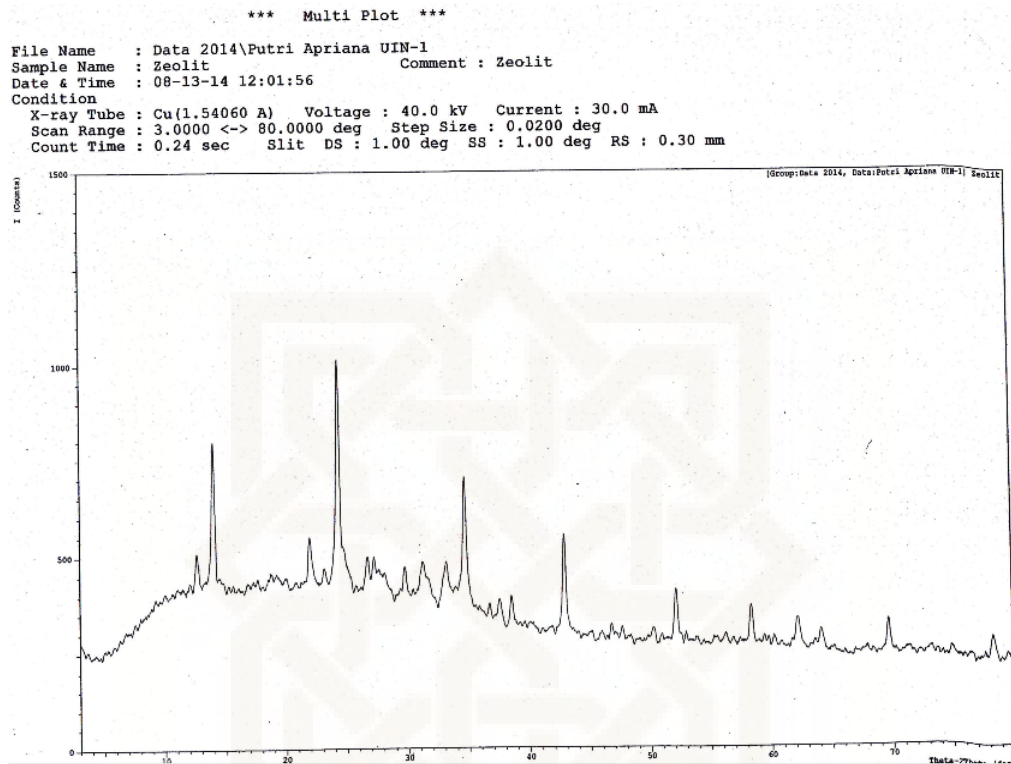
## b. Spektra IR Zeolit ZK4



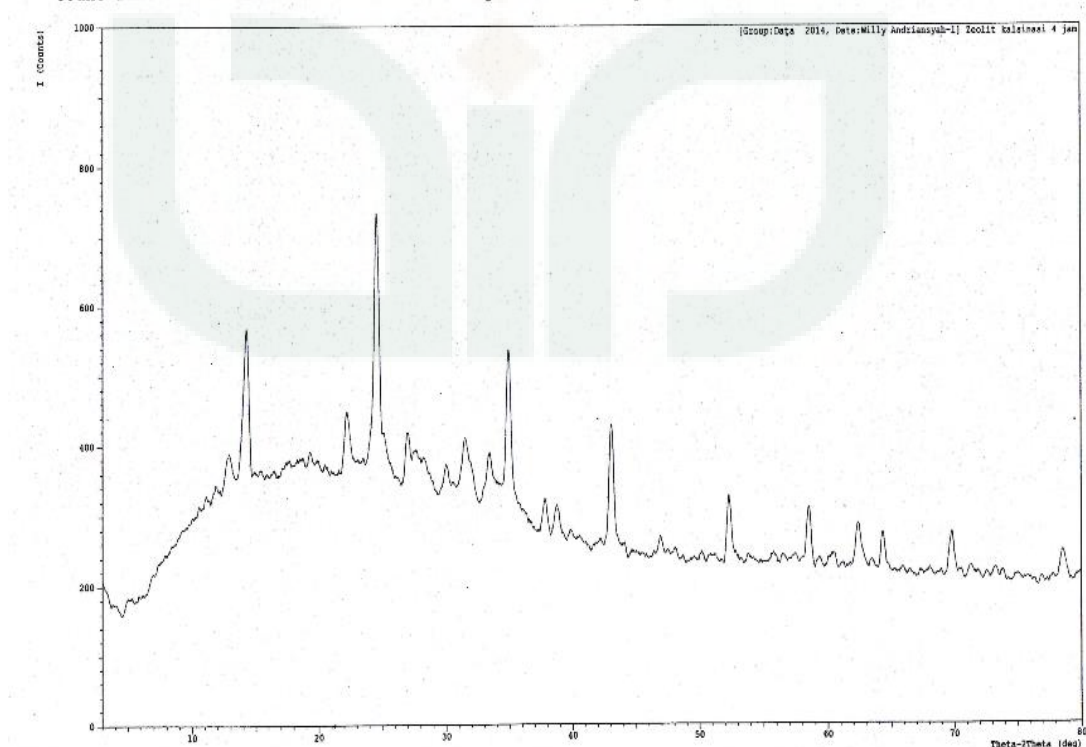
## c. Spektra IR Zeolit ZK6

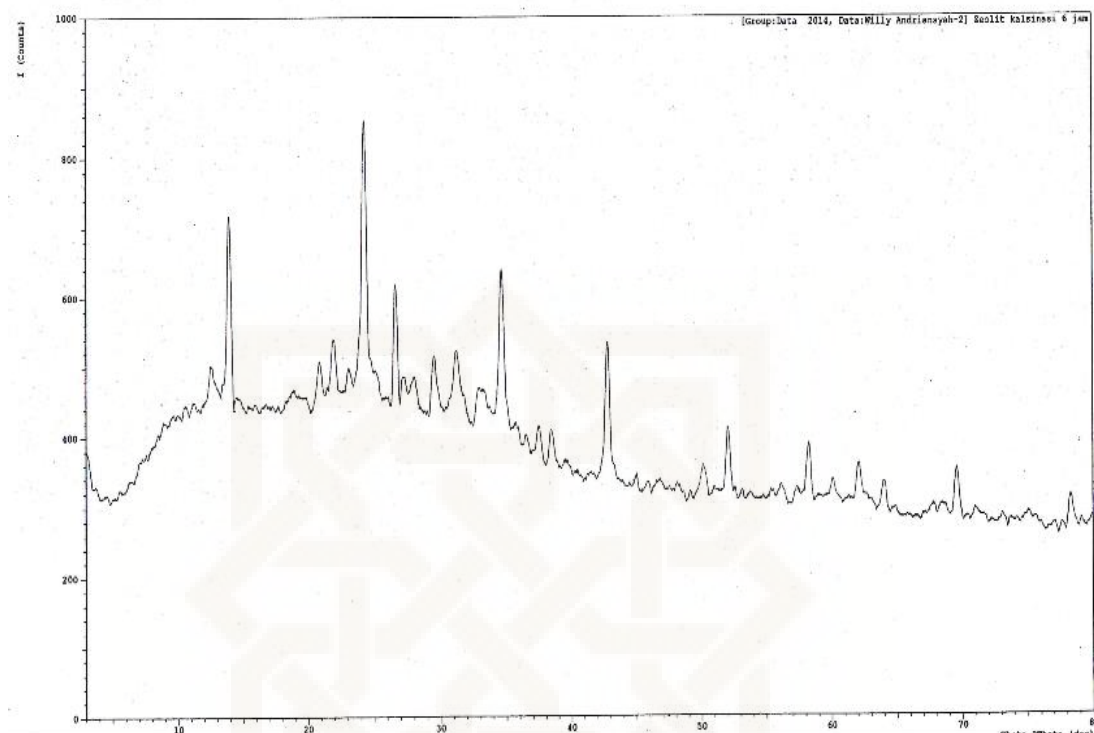


#### d. Difraktogram Zeolit ZK2

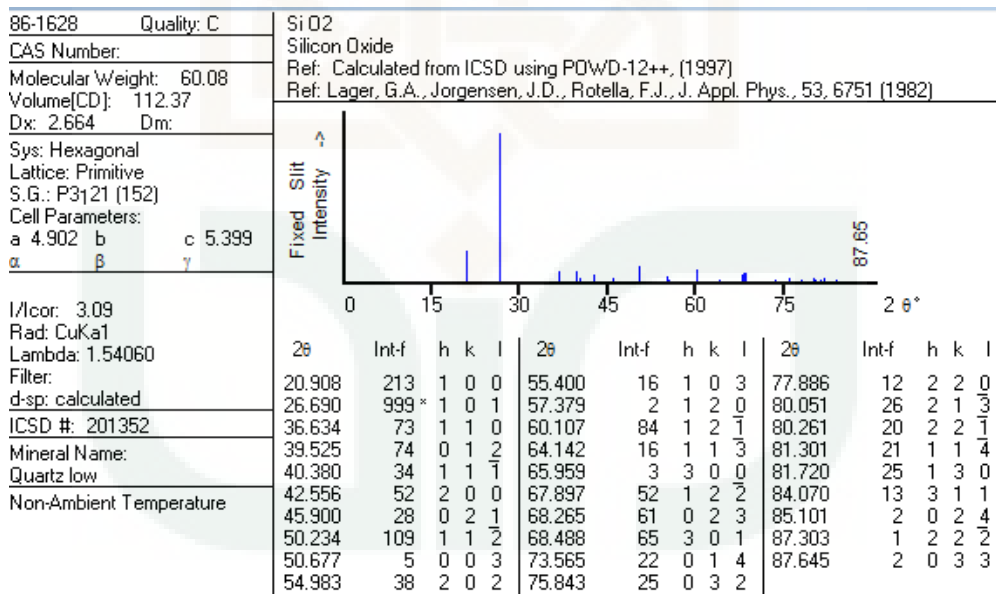
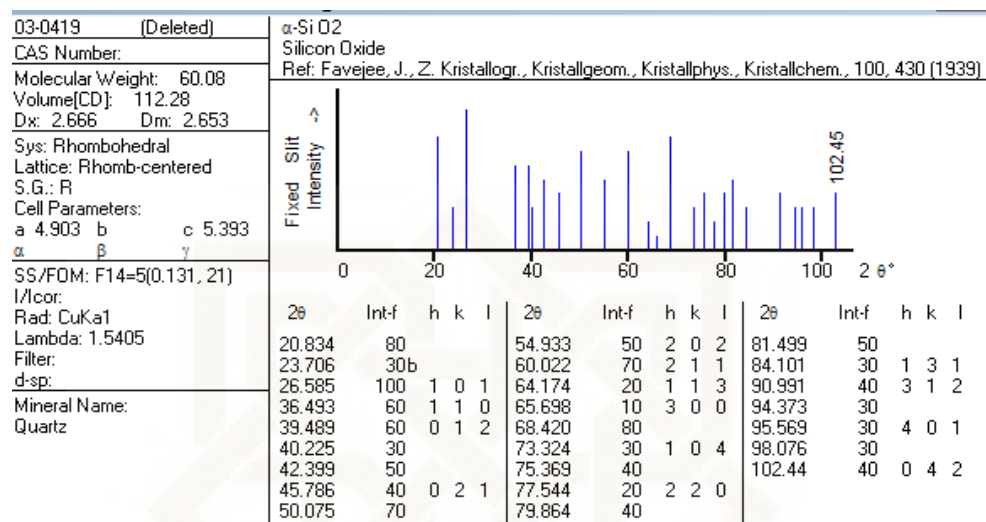


#### e. Difraktogram Zeolit ZK4

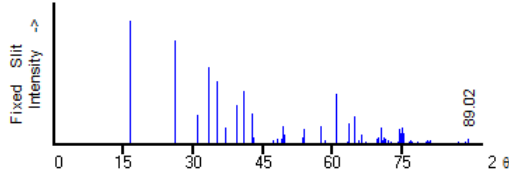


**f. Difraktogram Zeolit ZK6**

### Lampiran 7. JCPDS untuk Kuarsa, Mulit, Hematit, Sodalit, Faujasit, Zeolit Y, dan Zeolit Na-P

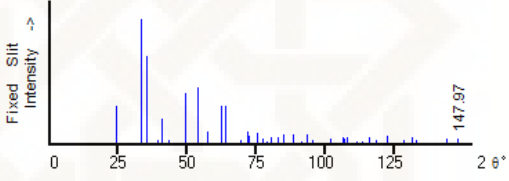


73-1253	Quality: C	Al <sub>2</sub> Si <sub>64</sub> O <sub>4</sub> .82
CAS Number:		Aluminum Silicon Oxide
Molecular Weight: 158.50		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)
Volume[CD]: 167.62		Ref: Durovic, S., Chem. Zvesti, 23, 113 (1969)
Dx: 3.140 Dm:		
Sys: Orthorhombic		
Lattice: Primitive		
S.G.: Pbam (55)		
Cell Parameters:		
a 7.566 b 7.682 c 2.884		
$\alpha$ $\beta$ $\gamma$		
I/lor: 0.60		
Rad: CuK $\alpha$ 1		
Lambda: 1.54060		
Filter:		
d-sp: calculated		
ICSD #: 023726		
Mineral Name:		
Mullite, syn		



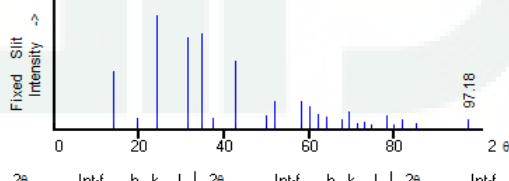
2 $\theta$	Int-f	h	k	l	2 $\theta$	Int-f	h	k	l	2 $\theta$	Int-f	h	k	l
16.431	999*	1	1	0	41.037	265	2	1	1	53.601	33	2	3	1
23.138	5	0	2	0	42.600	247	2	3	0	53.821	109	3	2	1
23.498	2	2	0	0	42.863	51	3	2	0	53.994	122	4	2	0
25.995	391	1	2	0	46.056	1	2	2	1	57.617	144	0	4	1
26.238	834	2	1	0	47.293	26	0	4	0	58.289	33	4	0	1
30.983	230	0	0	1	48.064	35	4	0	0	59.013	1	1	4	1
33.213	622	2	2	0	48.889	44	1	4	0	59.634	4	4	1	1
35.266	510	1	1	1	49.035	25	1	3	1	60.675	398	3	3	1
37.033	132	1	3	0	49.411	137	3	1	1	60.835	214	4	3	0
37.504	10	3	1	0	49.594	77	4	1	0	61.541	10	1	5	0
39.250	316	2	0	1	50.770	5	3	3	0	62.508	5	5	1	0
40.874	428	1	2	1	53.464	54	2	4	0	63.086	20	2	4	1

33-0664	Quality: *	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
CAS Number: 1309-37-1		Iron Oxide
Molecular Weight: 159.69		Ref: Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, 18, 37 (1981)
Volume[CD]: 301.93		
Dx: 5.270 Dm: 5.260		
Sys: Rhombohedral		
Lattice: Rhomb-centered		
S.G.: R $\bar{3}c$ (167)		
Cell Parameters:		
a 5.035 b c 13.748		
$\alpha$ $\beta$ $\gamma$		
SS/FOM: F30=69(0111, 39)		
I/lor: 2.4		
Rad: CuK $\alpha$ 1		
Lambda: 1.540598		
Filter:		
d-sp: diffractometer		
Mineral Name:		
Hematite, syn		
Also called:		
burnt ochre		
colcothar		
rouge		



2 $\theta$	Int-f	h	k	l	2 $\theta$	Int-f	h	k	l	2 $\theta$	Int-f	h	k	l
24.138	30	0	1	2	66.028	<1	1	2	5	95.239	<1	1	1	12
33.153	100	1	0	4	69.601	3	2	0	8	95.663	3	4	0	4
35.612	70	1	1	0	71.937	10	1	0	10	102.28	4	3	1	8
39.277	3	0	0	6	72.262	6	1	1	9	104.91	<1	2	2	9
40.855	20	1	1	3	75.430	8	2	2	0	106.62	5	3	2	4
43.519	3	2	0	2	77.729	4	3	0	6	107.02	4	0	1	14
49.480	40	0	2	4	78.760	2	2	2	3	108.09	5	4	1	0
54.091	45	1	1	6	80.711	5	1	2	8	111.51	2	4	1	3
56.152	1	2	1	1	82.939	5	0	2	10	113.59	2	0	4	8
57.429	5	1	2	2	84.916	7	1	3	4	116.04	5	1	3	10
57.590	10	0	1	8	88.542	7	2	2	6	117.75	1	3	0	12
62.451	30	2	1	4	91.345	2	0	4	2	118.69	3	2	0	14
63.991	30	3	0	0	93.715	7	2	1	10	122.43	6	4	1	6

42-0216	Quality: I	Na <sub>6</sub> [AlSi <sub>4</sub> O <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> ·4H <sub>2</sub> O
CAS Number:		Sodium Aluminum Silicate Hydrate
Molecular Weight: 924.39		Ref: Sieger, P., Engelhardt, G., Felsche, J., Universitat Konstanz, Konstanz, Germany, Private Communication, (1991)
Volume[CD]: 720.53		
Dx: 2.130 Dm:		
Sys: Cubic		
Lattice: Primitive		
S.G.: P $\bar{4}3n$ (218)		
Cell Parameters:		
a 8.965 b c		
$\alpha$ $\beta$ $\gamma$		
SS/FOM: F23=12(0.032, 61)		
I/lor:		
Rad: CuK $\alpha$ 1		
Lambda: 1.5405		
Filter:		
d-sp: Guinier		
Also called:		
Unnamed zeolite		



2 $\theta$	Int-f	h	k	l	2 $\theta$	Int-f	h	k	l	2 $\theta$	Int-f	h	k	l
13.936	51	1	1	0	51.971	25	5	1	0	73.061	6	4	4	4
19.760	10	2	0	0	58.151	25	4	4	0	74.742	4	5	5	0
24.318	100	2	1	1	60.108	20	5	3	0	78.300	12	7	2	1
31.553	80	3	1	0	62.024	13	6	0	0	80.024	4	6	4	2
34.644	83	2	2	2	63.927	11	6	1	1	81.751	8	7	3	0
37.439	10	3	2	1	67.689	8	5	4	1	85.195	5	7	3	2
42.800	60	4	1	1	69.460	15	6	2	2	97.181	8	6	6	2
49.812	12	4	2	2	71.273	5	6	3	1					

88-2371	Quality: C	Zn6 Al12 Si12 O48
CAS Number:		Zinc Aluminum Silicate
Molecular Weight: 1821.06		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++
Volume[CD]: 1749.25		Ref: McCusker, L.B., Seif, K., J. Phys. Chem., 85, 405 (1981)
Dx: 1.729	Dm:	
Sys: Cubic		
Lattice: Primitive		
S.G.: Fm3m (221)		
Cell Parameters:		
a 12.04	b	c
$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
I/Cor: 17.27		
Rad: CuK $\alpha$ 1		
Lambda: 1.54060		
Filter:		
d-sp: calculated		
ICSD #: 041553		
Also called:		
Zeolite A, Zn-exchanged, evacuated, syn		

$2\theta$	Int-f	h	k	l	$2\theta$	Int-f	h	k	l	$2\theta$	Int-f	h	k	l
7.331	999 *	1	0	0	29.633	1	4	0	0	40.994	1	5	2	1
10.375	1	1	1	0	30.567	22	4	1	0	42.403	1	4	4	0
12.715	13	1	1	1	31.475	3	3	3	0	43.093	3	5	2	2
14.632	1	1	0	0	32.351	7	3	3	1	43.774	2	5	3	0
16.438	14	2	1	0	33.226	1	4	2	0	44.447	2	5	3	1
18.019	19	2	1	1	34.071	11	4	2	1	45.112	12	6	0	0
20.835	1	2	2	0	34.898	26	3	3	2	45.769	3	6	1	0
22.115	57	3	0	0	36.504	2	4	2	2	46.419	1	6	1	1
23.327	1	3	1	0	37.284	5	5	0	0	47.639	1	6	2	0
24.483	24	3	1	1	38.050	3	5	1	0	48.329	2	4	4	3
26.654	2	3	2	0	38.804	3	5	1	1	48.953	2	5	4	1
27.679	44	3	2	1	40.275	2	5	2	0	49.571	1	5	3	3

40-0050	(Deleted)	Al12 Si12 O39.5
CAS Number:		Aluminum Tungsten Oxide Silicate
Molecular Weight: 2893.24		Ref: Lunk, H.-J et al., Z. Anorg. Allg. Chem., 537, 207 (1986)
Volume[CD]:		
Dx:	Dm:	
Sys:		
S.G.:		
Cell Parameters:		
a	b	c
$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
SS/FDM: F = ( , )		
I/Cor:		
Rad: CuK $\alpha$		
Lambda: 1.5418		
Filter:		
d-sp:		

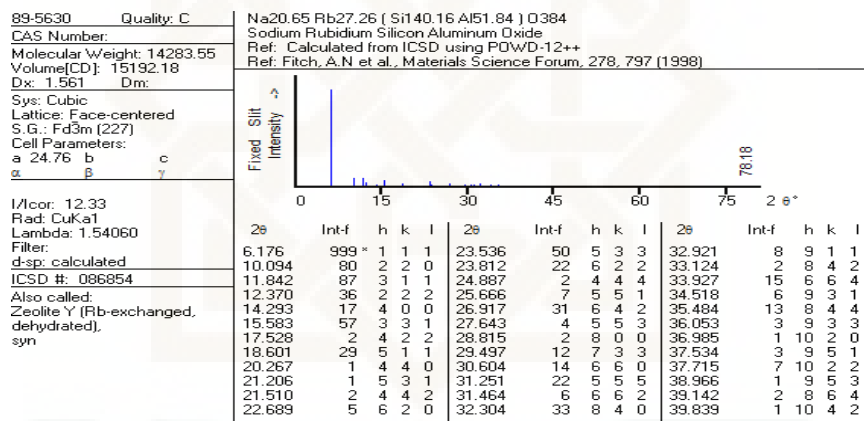
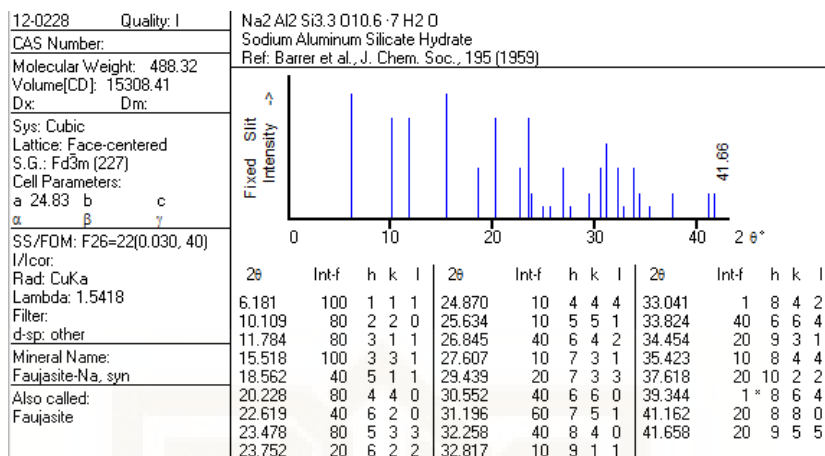
$2\theta$	Int-f	h	k	l	$2\theta$	Int-f	h	k	l	$2\theta$	Int-f	h	k	l
22.742	50				33.824	50				47.085	50			
23.285	100				35.051	20				49.253	50			
24.052	50				40.831	50				50.121	50			
26.289	50				41.221	20				52.924	10			
28.424	50				43.729	10				53.592	100			
32.929	50				44.178	10								
33.180	100				44.870	20								

39-0218	Quality: C	Na88 Al88 Si104 O384 · 220 H2 O
CAS Number:		Sodium Aluminum Silicate Hydrate
Molecular Weight: 17425.48		Ref: von Ballmoos, R., Collection of Simulated XRD Powder Patterns For Zeolites, (1984)
Volume[CD]: 15677.56		
Dx:	Dm:	
Sys: Cubic		
Lattice: Face-centered		
S.G.: Fd3 (203)		
Cell Parameters:		
a 25.02	b	c
$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
SS/FDM: F30=334(0023, 39)		
I/Cor:		
Rad: CuK $\alpha$		
Lambda: 1.5418		
Filter:		
d-sp: calculated		
Also called:		
Zeolite X, (Na)		

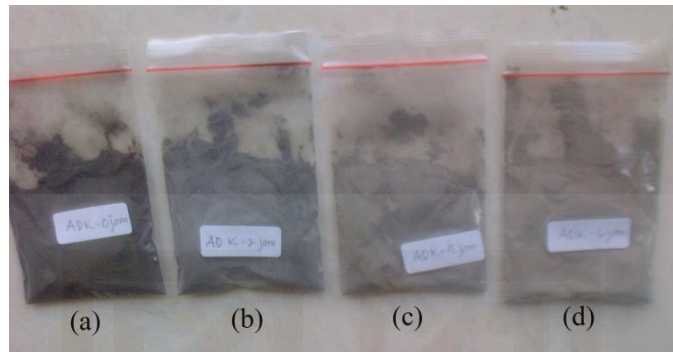
  

$2\theta$	Int-f	h	k	l	$2\theta$	Int-f	h	k	l	$2\theta$	Int-f	h	k	l
6.116	999 *	1	1	1	25.411	2	5	5	1	36.618	1	2	6	8
9.996	104	2	2	0	26.649	58	6	4	2	37.343	14	10	2	2
11.727	32	3	1	1	27.374	1	7	3	1	39.944	5	11	1	1
12.250	2	2	2	2	29.203	13	7	3	3	40.792	12	8	8	0
15.431	61	3	3	1	30.297	29	8	2	2	41.280	11	11	3	1
17.357	1	4	2	2	30.942	70	1	5	7	41.458	1	8	8	2
18.418	15	5	1	1	31.152	3	6	6	2	42.584	6	11	3	3
20.071	21	4	4	0	31.986	38	8	4	0	43.377	3	8	8	4
20.996	5	5	3	1	32.596	8	9	1	1	46.322	2	9	9	1
22.468	14	6	2	0	32.792	2	8	4	2	46.473	6	12	4	2
23.304	63	5	3	3	33.589	36	6	6	4	47.059	6	10	8	2
23.579	6	6	2	2	34.170	12	9	3	1	48.225	2	12	4	4
24.647	2	4	4	4	35.136	5	8	4	4	48.664	2	9	7	7

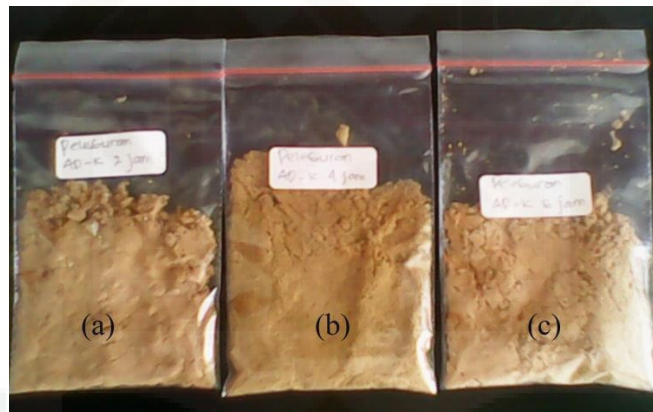




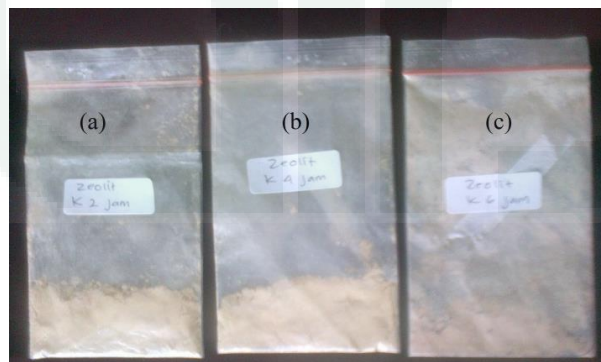
## Lampiran 8. Dokumentasi penelitian



Gambar 1. Abu dasar batubara Madukismo (a) tanpa perlakuan, (b) kalsinasi 2 jam, (c) kalsinasi 4 jam, dan (d) kalsinasi 6 jam.



Gambar 2. Hasil peleburan abu dasar batubara (a) kalsinasi 2 jam, (b) kalsinasi 4 jam, dan (c) kalsinasi 6 jam dengan basa NaOH.



Gambar 3. Zeolit sintesis dari abu dasar batubara (a) kalsinasi 2 jam, (b) kalsinasi 4 jam, dan (c) kalsinasi 6 jam.