

**PENGARUH KALSINASI TERHADAP PEMBENTUKAN ZEOLIT DARI  
ABU DASAR BATUBARA MELALUI PELEBURAN-HIDROTERMAL  
UNTUK ADSORPSI LOGAM Cu(II)**

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

**Program Studi Kimia**



**Oleh:**  
**Tofidul Lukman**  
**10630035**

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

**2015**



## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat 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 : Tofidul Lukman

NIM : 10630035

Judul Skripsi : Pengaruh Kalsinasi Terhadap Pembentukan Zeolit dari Abu Dasar Batubara melalui Peleburan-Hidrotermal untuk Adsorpsi Logam Cu (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 di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 22 Desember 2014

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 : Tofidul Lukman  
NIM : 10630035  
Judul Skripsi : Pengaruh Kalsinasi terhadap Pembentukan Zeolit dari Abu Dasar Batubara melalui Peleburan-Hidrotermal untuk Adsorpsi Logam Cu(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, 19 Januari 2015  
Konsultan

Pedy Artsanti, M.Sc



**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 : Tofidul Lukman

NIM : 10630035

Judul Skripsi : Pengaruh Kalsinasi terhadap Pembentukan Zeolit dari Abu Dasar Batubara melalui Peleburan-Hidrotermal untuk Adsorpsi Logam Cu(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, 19 Januari 2015

Konsultan

Endaruji Sedyadi, M.Sc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tofidul Lukman  
NIM : 10630035  
Program Studi : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Skripsi : Pengaruh Kalsinasi Terhadap Pembentukan Zeolit dari Abu Dasar Batubara melalui Peleburan-Hidrotermal untuk Adsorpsi Logam Cu(II)

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau telah ditulis oleh orang lain atau telah digunakan sebagai persyaratan penyelesaian studi perguruan lain, kecuali pada bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan. Apabila terbukti ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 22 Desember 2014

Yang Menyatakan



Tofidul Lukman  
NIM: 10630035



**PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/226/2015

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Pengaruh Kalsinasi Terhadap Pembentukan Zeolit dari Abu Dasar Batubara melalui Peleburan-Hidrotermal untuk Adsorpsi Logam Cu(II)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :  
Nama : Tofidul Lukman  
NIM : 10630035  
Telah dimunaqasyahkan pada : 12 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

Pedy Artsanti, M.Sc

Penguji II

Endang Sedyadi, M.Sc

Yogyakarta, 22 Januari 2015  
UIN Sunan Kalijaga  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Dekan



Khamidinal, M.Si  
NIP.19691104 200003 1 002

## MOTTO

**“ Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu. Dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusyu’ “**

( QS. Al-Baqarah/2: 45 )

**“Barang siapa menempuh suatu jalan untuk menuntut ilmu, niscaya Allah memudahkan baginya dengan (ilmu) itu jalan menuju surga”**

( HR. Muslim )

**“Kekurangan adalah ujian sementara untuk orang yang akan dilebihkan”**

( Mario Teguh )

**“Ojo Keminter Mundak Keblinger, Ojo Cidro Mundak Ciloko”**

**“Your Future Is Determined By What You Start Today.”**

## **PERSEMBAHAN**

**Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT dan  
Rasulullah Muhammad SAW**

**Karya ini aku persembahkan untuk:**

**Ibu dan Bapakku tersayang .....**

**Yang telah memberikan kasih sayang lahir batin dan segala  
pengorbanannya yang tak terhingga**

**Kakakku tercinta .....**

**(A. Supriyanto & Nanik Farida)**

**Yang telah memberikan motivasi untuk selalu menjadi lebih baik**

**Almamaterku .....**

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



## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, Segala puji hanya milik Allah SWT. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW. Berkat limpahan nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar tanpa halangan apapun.

Skripsi dengan judul **“Pengaruh Kalsinasi Terhadap Pembentukan Zeolit dari Abu Dasar Batubara melalui Peleburan-Hidrotermal dan Apikasinya untuk Adsorpsi Logam Cu(II)”** disusun untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1 Program Studi Kimia.


Dalam kesempatan ini, penyusun mengucapkan terima kasih 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 penyusunan skripsi.
4. Ibu Maya Rahmayanti, M.Si., selaku dosen penasihat akademik dan seluruh dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.

5. Seluruh staf karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam urusan administrasi.
6. Bapak A. Wijayanto, S.Si., Bapak Indra Nafiyanto, S.Si., dan Ibu Isni Gustanti, S.Si selaku Laboran Laboratorium Kimia yang telah melayani dan mengajari cara pemakaian peralatan Laboratorium selama proses penelitian.
7. Ibu, bapak, kakak, keponakan (Nazala dan Arvino), dan keluarga besar tercinta yang selalu mendo'akan. Terima kasih yang tak terhingga atas segala pengorbanannya selama ini.
8. Sahabat dan rekan-rekan penelitian: Heru, Salman, Afid, Hargian, Willy, Novi, Putri, dan seseorang spesial Cici. Terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya selama proses penelitian.
9. Teman-teman Program Studi Kimia angkatan 2010. Terima kasih atas pertemanan dan kebersamaannya yang akan selalu dikenang.
10. 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 penyusun 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, Desember 2014

  
Penyusun

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN NOTA DINAS KONSULTAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
MOTTO .....	vii
PERSEMBAHAN .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
ABSTRAK .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Batasan Masalah .....	4
C. Rumusan Masalah .....	4
D. Tujuan Penelitian .....	5
E. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b>	
A. Tinjauan Pustaka .....	6
B. Landasan Teori .....	8
1. Abu Dasar Batubara .....	8
2. Kalsinasi .....	9
3. Zeolit .....	11
4. Sintesis Zeolit .....	14
5. Karakterisasi Abu Dasar Batubara dan Zeolit.....	17
a. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	17
b. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	19
c. Spektroskopi <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	21
6. <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS) .....	23
7. Logam Tembaga (Cu) .....	25
8. Adsorpsi .....	27
9. Isoterm Adsorpsi .....	30
a. Isoterm Langmuir .....	30
b. Isoterm Freudlich .....	31

10. Kinetika Adsorpsi .....	32
a. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Pertama .....	32
b. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Kedua .....	33
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	34
B. Alat-alat Penelitian .....	34
C. Bahan-bahan Penelitian .....	34
D. Cara Kerja Penelitian .....	35
1. Preparasi Awal Abu Dasar Batubara .....	35
2. Kalsinasi Abu Dasar Batubara .....	35
3. Peleburan dengan NaOH .....	35
4. Sintesis Zeolit .....	35
5. Uji Adsorpsi Logam Cu(II) .....	36
a. Pembuatan Larutan Standar Cu(II) 500 ppm .....	36
b. Penentuan pH Optimum .....	36
c. Penentuan Waktu Kontak Optimum .....	37
d. Penentuan Konsentrasi Awal Larutan Cu(II) .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Karakterisasi Abu Dasar Batubara .....	39
1. Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	39
2. Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	41
B. Sintesis Zeolit dari Abu Dasar Batubara .....	44
C. Karakterisasi Zeolit sintesis .....	47
1. Karakterisasi Menggunakan FTIR .....	47
2. Karakterisasi Menggunakan XRD .....	51
D. Uji Adsorpsi Logam Cu(II) .....	55
1. Penentuan pH Optimum .....	56
2. Penentuan Waktu Kontak Optimum .....	60
3. Kinetika adsorpsi .....	62
4. Penentuan Konsentrasi Awal Larutan Cu(II) .....	65
5. Isoterm Adsorpsi .....	66
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan .....	70
B. Saran .....	71
DAFTAR PUSTAKA .....	72
LAMPIRAN .....	77

## 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 .....	12
Gambar 2.2 Topologi unit pembangun sekunder zeolit .....	13
Gambar 2.3 Struktur kerangka berbagai jenis zeolit sintesis (a) sodalit, (b) zeolit A, dan (c) zeolit X/Y .....	14
Gambar 2.4 Pembentukan berbagai jenis zeolit sintesis SOD (sodalit), LTA (linde tipe A), FAU (faujasit), dan EMT (EMC-2) dari sangkar sodalit .....	15
Gambar 2.5 Skema mekanisme pembentukan zeolit secara hidrotermal	17
Gambar 2.6 Skema instrumentasi spektrometer WDXRF .....	18
Gambar 2.7 Skema instrumentasi XRD .....	20
Gambar 2.8 Skema instrumentasi spektroskopi FTIR .....	22
Gambar 2.9 Skema instrumentasi AAS .....	24
Gambar 2.10 Diagram spesiasi ion logam Cu untuk pH 2-12 pada suhu kamar .....	27
Gambar 4.1 Difraktogram abu dasar batubara .....	42
Gambar 4.2 Perbandingan spektra IR zeolit sintesis dari ab dasar kalsinasi selama 2 jam (ZK2), 4 jam (ZK4), dan 6 jam (ZK6) .....	48
Gambar 4.3 Perbandingan difraktogram zeolit sintesis dari abu dasar kalsinasi selama 2 jam (ZK2), 4 jam (ZK4), dan 6 jam (ZK6). .....	51
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara pH dengan % adsorpsi logam Cu(II) menggunakan abu dasar dan zeolit sintesis .....	57
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara waktu kontak dengan % adsorpsi logam Cu(II) menggunakan abu dasar dan zeolit sintesis .	61
Gambar 4.6 Grafik pseudo orde pertama dari abu dasar dan zeolit sintesis .....	63
Gambar 4.7 Grafik pseudo orde kedua dari abu dasar dan zeolit sintesis .....	63
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara konsentrasi awal dengan % adsorpsi logam Cu(II) menggunakan abu dasar dan zeolit sintesis .....	65
Gambar 4.9 Grafik isoterm Langmuir pada adsorben abu dasar dan zeolit sintesis .....	67
Gambar 4.10 Grafik isoterm Freundlich pada adsorben abu dasar dan zeolit sintesis .....	68

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spektra serapan IR dari zeolit secara umum .....	23
Tabel 4.1 Komposisi senyawa dalam abu dasar batubara .....	39
Tabel 4.2 Interpretasi data XRD dari abu dasar batubara .....	43
Tabel 4.3 Interpretasi spektra IR dan jenis vibrasi dari zeolit sintesis ...	50
Tabel 4.4 Interpretasi data XRD zeolit sintesis .....	55
Tabel 4.5 Parameter kinetika adsorpsi abu dasar dan zeolit sintesis .....	64
Tabel 4.6 Parameter isoterm adsorpsi abu dasar dan zeolit sintesis .....	69



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan Kadar Karbon .....	77
Lampiran 2. Perhitungan Pada Variasi pH .....	78
Lampiran 3. Perhitungan Pada Variasi Waktu Kontak dan Penentuan Pseudo Orde Reaksi .....	79
Lampiran 4. Perhitungan Pada Variasi Konsentrasi dan Penentuan Isoterm Reaksi .....	84
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Abu Dasar Batubara Menggunakan XRD .....	89
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Zeolit Sintesis Menggunakan FTIR dan XRD .....	90
Lampiran 7. JCPDS untuk Kuarsa, Mulit, Hematit, Sodalit, Faujasit, Zeolit Y, dan Zeolit Na-P.....	93
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian.....	96

## ABSTRAK

### PENGARUH KALSINASI TERHADAP PEMBENTUKAN ZEOLIT DARI ABU DASAR BATUBARA MELALUI PELEBURAN-HIDROTERMAL UNTUK ADSORPSI LOGAM Cu(II)

Oleh:

**Tofidul Lukman**

**10630035**

**Dosen Pembimbing: Khamidinal, M.Si**

---

Telah dilakukan sintesis zeolit dari abu dasar batubara melalui peleburan-hidrotermal untuk adsorpsi logam Cu(II). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu kalsinasi abu dasar terhadap zeolit yang dihasilkan, dan mengetahui kapasitas adsorpsinya terhadap logam Cu(II).

Abu dasar dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD, kemudian dikalsinasi selama 2, 4, dan 6 jam. Sintesis zeolit dilakukan melalui peleburan abu dasar dengan NaOH pada suhu 750 °C dilanjutkan proses hidrotermal pada suhu 100 °C selama 24 jam. Zeolit sintesis dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD. Uji adsorpsi logam Cu(II) dilakukan dengan variasi pH, waktu, dan konsentrasi. Dikaji pula aspek kinetika dan isoterm adsorpsinya.

Hasil uji menggunakan XRD dan XRF menunjukkan bahwa abu dasar mengandung kuarsa dan mulit (Si/Al=1,50). Produk hidrotermal menunjukkan adanya serapan IR spesifik zeolit pada bilangan gelombang 300-1250 cm<sup>-1</sup>. Karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan telah terbentuk sodalit, zeolit faujasit, zeolit Y, dan zeolit Na-P. Kondisi optimum adsorpsi Cu(II) yaitu pada pH 4, waktu 60 menit, dan konsentrasi 40 mg/L untuk zeolit, dan pH 5, waktu 75 menit, konsentrasi 20 mg/L untuk abu dasar. Kinetika adsorpsi Cu(II) menggunakan zeolit dan abu dasar mengikuti model pseudo orde kedua. Isoterm adsorpsi zeolit dan abu dasar mengikuti model Langmuir dengan kapasitas adsorpsi maksimum ( $q_{max}$ ) masing-masing 39,370 mg/g dan 4,558 mg/g.

---

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



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Dewasa ini banyak industri yang telah beralih menggunakan batubara sebagai bahan bakar dalam menghasilkan uap. Hal ini disebabkan karena pemakaian batubara dianggap lebih efisien dibandingkan dengan pemakaian minyak bumi yang harganya terus meningkat, sedangkan cadangannya semakin berkurang. Selain tersebar merata di seluruh dunia, batubara merupakan bahan yang siap dieksploitasi secara ekonomis karena terdapat dalam jumlah yang banyak, sehingga menjadi bahan bakar yang paling lama dapat menyokong kebutuhan energi dunia (Kartika, 2009).

Penggunaan batubara sebagai sumber bahan bakar menghasilkan limbah berupa pelepasan abu sisa pembakaran, baik berupa abu layang (*fly ash*) maupun abu dasar (*bottom ash*) yang berpotensi menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan, sehingga perlu diupayakan pemanfaatannya. Abu dasar dihasilkan dari *furnace* dasar pembakaran batubara. Kandungan utama dari abu dasar adalah mineral-mineral aluminat dan silikat. Kula (2000), menyatakan bahwa abu dasar memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang cukup tinggi, masing-masing sebesar 50,98% dan 14,996% yang ditemukan dalam fasa amorf maupun kristalin. Mineral-mineral Si dan Al tersebut merupakan komponen utama penyusun kerangka zeolit, sehingga dengan perlakuan tertentu abu dasar berpotensi untuk dikonversi menjadi zeolit (Tanaka, 2002).

Zeolit merupakan padatan kristalin berongga yang tersusun atas kerangka aluminat dan silikat dengan kation penyeimbang muatan umumnya berupa logam alkali dan atau alkali tanah (Davis, 1991). Berdasarkan proses pembentukannya, zeolit digolongkan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis. Zeolit sintesis umumnya dibuat secara hidrotermal. Kondisi sintesis tergantung pada komposisi material yang diinginkan, ukuran partikel, morfologi, dan sebagainya.

Menurut Shigemoto dan Hayashi (1995), sintesis zeolit melalui metode peleburan (fusi) 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. Proses sintesis juga sensitif terhadap sejumlah variabel seperti temperatur, pH, sumber silika dan alumina, jenis kation alkali, waktu reaksi, maupun surfaktan (Schubert dan Husing, 2000).

Sintesis zeolit dari abu dasar masih jarang dilakukan, karena berbagai alasan seperti rendahnya kandungan Si dan Al dibandingkan dengan abu layang, mengandung lebih banyak pengotor seperti oksida-oksida kalsium dan besi, serta tingginya kadar karbon dalam abu dasar. Menurut Alfathoni (2002), karbon memiliki luas permukaan besar dan daya serap yang tinggi. Jika karbon dilarutkan dalam basa (NaOH), maka akan menyerap larutan basa, sehingga dapat mengurangi konsentrasinya. Pengurangan konsentrasi larutan basa NaOH juga akan mengurangi kemampuan untuk melarutkan Si dan Al dalam proses pembentukan zeolit. Proses penghilangan karbon dari abu dasar tersebut dapat dilakukan melalui pembakaran abu dasar (kalsinasi), sehingga tidak ada lagi

karbon yang tertinggal. Penghilangan karbon dilakukan, karena diindikasikan bahwa apabila karbon dipertahankan dalam abu dasar, maka akan menghambat proses pembentukan kristal zeolit.

Zeolit mempunyai beragam kegunaan seperti katalis, penukar kation, penyaring molekul, dan adsorben (Smart dan Moore, 1993). Dalam fungsinya sebagai adsorben, zeolit dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat. Logam berat adalah golongan logam yang dapat menimbulkan pengaruh dan efek khusus bila masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar yang berbahaya karena bersifat toksik dalam jumlah yang besar. Akan tetapi, sebagian dari logam-logam berat tersebut tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup walaupun dalam jumlah yang sangat kecil. Sebagai contoh logam berat antara lain raksa (Hg), krom (Cr), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan tembaga (Cu) (Palar, 2008).

Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang keberadaannya dalam lingkungan dapat berasal dari aktifitas manusia, yaitu berupa buangan limbah industri maupun limbah rumah tangga. Di dalam air limbah, tembaga dapat ditemukan sebagai Cu(I), Cu(II), dan Cu(III) dalam bentuk padat yang keberadaannya sangat jarang ditemukan. Limbah cair Cu(II) terutama berasal dari proses pewarnaan menggunakan bahan kimia seperti  $\text{CuSO}_4$  untuk pewarna biru, sehingga Cu(II) sangat berpotensi mencemari lingkungan. Menurut Gupta dan Bhattacharayya (2008), proses adsorpsi dengan pilihan jenis adsorben yang tepat merupakan proses yang sederhana tetapi cukup efektif dalam penghilangan logam berat dari limbah cair.

Berdasarkan paparan diatas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis zeolit dari abu dasar batubara yang telah dihilangkan kandungan karbonnya melalui kalsinasi. Sintesi zeolit dilakukan melalui dua tahapan yaitu peleburan menggunakan NaOH dan dilanjutkan dengan proses hidrotermal. Zeolit hasil sintesis selanjutnya diuji keefektifannya sebagai adsorben untuk adsorpsi logam Cu(II).

### **B. Batasan Masalah**

Agar memudahkan dalam penelitian, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Abu dasar batubara yang digunakan berasal dari Pabrik Spirtus Madukismo Yogyakarta.
2. Variasi waktu kalsinasi yang digunakan adalah 2, 4, dan 6 jam.
3. Metode yang digunakan untuk sintesis zeolit adalah metode peleburan-hidrotermal.
4. Jenis basa alkali yang digunakan untuk peleburan adalah NaOH.
5. Instrumen yang digunakan untuk karakterisasi antara lain: XRF (*X-Ray Fluorescence*), XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Forier-Transform Infrared Spectroscopy*), dan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*).

### **C. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik zeolit sintesis dari abu dasar batubara?

2. Bagaimana pengaruh waktu kalsinasi abu dasar batubara terhadap jenis zeolit yang dihasilkan?
3. Bagaimana model isoterm adsorpsi dan kinetika adsorpsi dari abu dasar batubara dan zeolit sintesis terhadap logam Cu(II)?

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

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik zeolit hasil sintesis dari abu dasar batubara.
2. Mengetahui pengaruh waktu kalsinasi abu dasar batubara terhadap jenis zeolit yang dihasilkan.
3. Mengetahui model isoterm adsorpsi dan kinetika adsorpsi dari abu dasar batubara dan zeolit sintesis terhadap logam Cu(II).

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

Penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan mengenai sintesis zeolit dari abu dasar batubara dengan perlakuan kalsinasi. Selain itu, juga dapat meningkatkan nilai guna dari limbah abu dasar yang selama ini kurang dimanfaatkan menjadi material adsorben yang lebih berguna. Kemampuan zeolit sintesis sebagai adsorben logam berat Cu(II) juga dapat diaplikasikan untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan oleh logam Cu(II).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

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

1. Abu dasar sebagai bahan utama sintesis zeolit mengandung Si dan Al sebanyak 73,85% baik dalam fasa amorf maupun kristalin. Produk hidrotermal yang dihasilkan berupa material yang mirip zeolit (*zeolite like*). Hal ini dibuktikan dengan munculnya serapan karakteristik spektra IR zeolit yaitu pada bilangan gelombang  $3448.72\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi ulur O-H dari silanol),  $995.27\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi regangan asimetris Si-O/Al-O),  $694.37\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi ulur simetri O-Si-O/O-Al-O),  $624.94\text{ cm}^{-1}$  (Vibrasi cincin ganda),  $447.49\text{ cm}^{-1}$  dan  $439.77\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi tekuk Si-O/Al-O), serta  $324.04\text{ cm}^{-1}$ ,  $331.76\text{ cm}^{-1}$ , dan  $339.47\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi pembukaan pori zeolit). Sementara itu, dari pola difraksi Sinar X menunjukkan bahwa telah terbentuk sodalit, zeolit faujasit, zeolit Y, dan zeolit Na-P sebagai produk sintesis.
2. Variasi waktu kalsinasi abu dasar sebagai bahan utama pembentukan zeolit mempengaruhi intensitas difraksi dan homogenitas jenis kristal pada produk hidrotermal. Produk ZK2 menghasilkan campuran sodalit, zeolit faujasit, zeolit Y, dan zeolit Na-P. Produk ZK4 berupa sodalit, zeolit faujasit, dan zeolit Y. Sedangkan produk ZK6 berupa sodalit, zeolit faujasit, zeolit Y, kuarsa, dan zeolit Na-P, dimana tingkat kristalinitas terbaik adalah produk sintesis ZK4.

3. Berdasarkan model kinetika, abu dasar dan zeolit sintesis mengikuti model kinetika pseudo orde kedua, dengan nilai  $R^2$  masing-masing 0,966 dan 0,999. Konstanta laju pseudo orde kedua abu dasar adalah  $0,012 \text{ g/mg}\cdot\text{menit}^{-1}$  dan untuk zeolit sintesis sebesar  $0,069 \text{ g/mg}\cdot\text{menit}^{-1}$ . Sementara itu, isoterm adsorpsi logam Cu(II) baik menggunakan abu dasar maupun zeolit sintesis mengikuti model Langmuir, dengan nilai  $R^2$  masing-masing 0,980 dan 0,981. Selain itu, nilai konstanta Langmuir untuk abu dasar sebesar dan zeolit masing-masing  $0,150 \text{ mg/L}$  dan  $7,697 \text{ mg/L}$ . Nilai kapasitas adsorpsi maksimum abu dasar adalah  $4,558 \text{ mg/g}$  dan zeolit sintesis sebesar  $39,370 \text{ mg/g}$ . Kondisi optimum adsorpsi Cu(II) yaitu pada pH 4, waktu 60 menit, dan konsentrasi  $40 \text{ mg/L}$  untuk zeolit, dan pH 5, waktu 75 menit, konsentrasi  $20 \text{ mg/L}$  untuk abu dasar.

## **B. Saran**

Saran dari penulis untuk peneliti berikutnya adalah perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut terhadap zeolit sintesis sebelum dan setelah adsorpsi menggunakan SEM.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningtyas, Zurida. 2012. Optimisasi Adsorpsi Ion Pb(II) Menggunakan Zeolit Alam Termodifikasi Ditizon. *Skripsi*. Departemen Kimia FMIPA. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- 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.
- Aprilita, N.H., Mudasir., Githa, A.A. 2008. Study on The Adsorption of Bottom Ash Towards Ni(II) Metal Ion. *Proceeding of The International Seminar on Chemistry* 2008. (pp.89-92).
- Arsyad, M Natsir. 2001. *Kamus Kimia Arti dan Penjelasan Istilah*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Astuti, W., Endang, T.W., Agus, P. I Made, B. 2013. 2013. The Character of Dual Site Adsorben on Coal Fly Ash Toward Pb(II) Adsoben. *IOSR Journal of Engineering*. e-ISSN: 2250-3021.
- Atkins, P.W. 1999. *Kimia Fisika*. Ed ke-4. Kartohadiprodo II, penerjemah; Indarto PW. Terjemahan dari *Physical Chemistry*. Jakarta : Erlangga.
- Bao, W., Liu, L., Zou, H., Gan, S., Xu, X., Ji, G., Gao, G., dan Zheng, K. 2013. Removal of Cu<sup>2+</sup> from Aqueous Solution Using Na-A Zeolite from Oil Shale Ash. *Chinese Journal of Chemistry and Engineering*. 21.9.
- Basset, J., R.C. Denney., G.H. Jeffrey., dan J. Mendhom. 1994. *Buku Ajar Vogel: Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Terjemahan A. Hadyana Pudjaatmaka dan L. Setiono. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Breck, D.W. 1974. *Zeolit Molecular Sieves: Structure, Chemistry and Use*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Canpolat, F., Yilmaz, K., Köse, M.M., Sümer, M., dan Yurdusey, 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.
- Chang, H.L., dan Shin, W.H. 1998. A General Methods for the Conversion of Fly Ash Into Zeolits as Ion Exchangers for Cesium. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 37 (1), 71-78.
- Darwanta. 1997. Kajian Penambahan Al(OH)<sub>3</sub> dalam Sintesis Zeolit 4A dari Abu Layang Batubara. *Skripsi*. Fakultas MIPA, Jurusan Kimia. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Davis, M.E. 1991. Zeolit and Molecular Sieves. Not Just Ordinary Catalyst, *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 30, 1675-1683.
- Eric, G.d., Fransisco, L., Claude, N., Fernando, R.R. 1992. Zeolite Microporous Solids: Synthesis, Structure, and Reactivity. *Springer Science and Business Media*. ISBN: 978-94-011-2604-5.
- Fansuri, H., Prasetyoko, D. and Muasyaroh, D. 2009. Effect of Initial hydrothermal Temperatures to Zeolite Products In the Synthesis of



- Zeolites from Coal Fly Ash. CHEMECA, *CR-ROM Proceeding*. 27-30 September 2009, Perth.
- Faridah, A.M., N.Widiastuti., D.Prasetyoko. 2012. Karakterisasi Abu Dasar PLTU Paiton: Pengaruh Perlakuan Magnet, HCl, dan Fusi dengan NaOH. *Prosiding Seminar Nasional Kimia UNESA 2012*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember. ISBN: 978-979-028-550-7.
- Faust, Samuel.D., dan Aly, Oesman.A. 1987. Adsorption Processes for Water Treatment. Stoneham, MA: Butterworth Publishers. ISBN: 0-409-90000-1.
- Feijen E. J. P., Martens J. A. & Jacobs P. A., 1994. Zeolites and their Mechanism of Synthesis: Studies in Surface Science and Catalysis. *Journal*. 84, 3-19.
- Fitriani, S., Arnelli., dan Ahmad, S. 2013. Pengaruh Waktu Hidrotermal Pada Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi Serta Aplikasinya Sebagai Builder Deterjen. *Chem Info*. Vol.1.no.1.hal 121-129. 2013.
- Flanigen ,E.M., Khatami, H., Szymanski, H.A. 1971. Infrared Structural Studies of Zeolite Framework, Molecular Sieves Zeolite-1. *American Society Advanced in Chemistry Series* no. 102, 201-227.
- Gauglitz, G., Dinh, T.Vo. 2003. *Handbook of Spectroscopy*. Wiley-VCH. ISBN: 3-527-29782-0.
- Gupta S.S., dan Bhattacharayya, G.K. 2008. Immobilization of Pb(II), Cd(II), Ni(II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium. *Journal of Enviromental Management*. 87: 46-58.
- Hamdan, H. 1992. Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification. University Teknologi Malaysia: Kuala Lumpur. Pp 32-54.
- Harmita. 2006. *Analisis Kuantitatif Bahan Baku dan Sediaan Farmasi*. Jakarta: Departemen Farmasi FMIPA Universitas Indonesia.
- Hermanus, Patrick A.Y. 2001. Perilaku Penggunaan Bottom Ash Pada Campuran Aspal Beton. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Irawan, Ade. 2013. Sintesis Zeolit P1 dan Nanokomposit Zeolit P1/Tio<sub>2</sub> dari Abu Terbang Batu Bara dan Sekam Padi serta Uji Kemampuan Adsorpsi dan Fotodegradasinya. *Skripsi*, Fakultas MIPA. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- James, S. R. 1988. *Introduction to The Principles of Ceramic Processing*. Singapore: John Wiley & Sons.
- Javadian, H., Forough, G., Habib, A.T., dan Seyed, M.H.A. 2013. Study of the adsorption of Cd (II) from queous solution using zeolite-based geopolymer, synthetized from coal fly ash; kinetic, isotherm and thermo dynamic studies. *Arabian Journal of Chemistry*. Iran: King Saud University.
- Jumaeri., W. Astuti., W.T.P, Lestari. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrotermal. *Reaktor*, Vol. 11. No. 1. Juni 2007, Hal.: 38-41.
- Kartika,S., Atik, Pujirahayu dan Heri, Widodo. 2009. Modifikasi Limbah Fly Ash Sebagai Adsorben Zat Warna Tekstil *Congo Red* yang Ramah Lingkungan

- dalam Upaya Mengatasi Pencemaran Industri Batik. *Journal*. Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Karthikeyan, G., Anbalagan, K., Andal, N.M. 2004. Adsorption Dynamics and equilibrium Studies of Zn(II) onto Chitosan. *Indian J. Chem. Sci.*, 116, 2, pp. 119-127.
- Khopkar, S. M. 2008. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Kula, A. Olgun. 2000. Effects of Colemanite Waste, Coal Bottom Ash and Fly Ash on The Properties of Cement. *Journal of cement and concrete research*. hal. 491-494.
- Londar Everista., Fansuri, Hamzah., dan Widiastuti, Nurul (2009). Pengaruh Karbon Terhadap Pembentukan Zeolit Dari Abu Dasar Dengan Metode Hidrotermal Langsung. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lucia, R., Martin, P., dan Eva, F. 2014. Radiocesium Adsorption by Zeolitic Materials Synthesized from Coal Fly Ash. *Nova Biotechnica et Chimica* (2014) 13-1.
- Moore, James.W., dan S.Ramamoorthy. 1983. *Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact*. New York: Springer-Verlag. ISBN:0-387.
- Musyoka, N.M., Petrik, L.F., Balfour, G., Natasha, M., Gitari, W., Mabovu, B. 2009. Removal of toxic elements from brine using zeolit Na-P1 made from A South African Coal Fly Ash. *Proceedings*. ISBN Number:978-0-9802623-5-3.
- Nelson, S.A. 2003. *Earth Materials : X-Ray Crystallography*. Tulane University.
- 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.
- Oye, G., Sjoblon, J., Stoker, M. 1999. Synthesis and Characterization of Siliceous and Aluminium-Containing Mesoporous Materials from Different Surfactant Solution. *Micropore Misopore Matter*. 27: 171-180.
- Palar, Haryando. 2008. *Pencemaran Dan Toksikologi Logam Berat, Cetakan Keempat*, Jakarta: Rineka Cipta.
- Poernomosidi, D.N., Imelda., Hartono, S.B., Ismadji.S. 2005. Keseimbangan dan Kinetika Adsorpsi dari Cr(VI) pada Limbah Sintesis dengan Menggunakan Lumpur Aktif Kering. *The 4<sup>th</sup> National Conference: Design and Application of Technology 2005*. Universitas Katoik Widya Mandala Surabaya.
- Powell, K.J., Brown, P.L., Byrne, R.H., Gajda, T., Hefter, G., Sjoberg, S., Wanner, S., 2007, Chemical Speciation of Environmentally Significant Metals with Inorganic Ligands, *Pure Appl. Chem.*, 79 (5) : 895-950.
- Querol X, Moreno, N, Umana, JC, Alastuey A, Hernandez E, Lopez Soler A, plana F. 2002. Synthesis of Zeolites from Fly Ash: an overview. *International Journal Coal Geol*. 50: 413-423.
- Ratih, K.W., Handoko, D., Aning, P. 2010. Pemanfaatan Abu Bawah Batubara (Bottom Ash) Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Logam Cd<sup>2+</sup>. Program Studi S1 Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi. Surabaya: Universitas Airlangga.

- Rosenquist, Terkel. 1974. *Principles of Extractive Metallurgy*. Tokyo: Mc. Graw-Hill. Kogukusha.
- Sari, I.P dan Widiastuti,N. 2009. Adsorpsi *Methylen Blue* dengan Abu Dasar PT. IPMOMI Probolinggo Jawa Timur dan Zeolit Berkarbon. *Prosiding Skripsi Semester Gasal 2009/2010*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sarno. 1983. *Endapan Zeolit, Penggunaan dan sebarannya di Indonesia*, Bandung: Direktorat Sumberdaya Mineral Departemen Pertambangan dan Energi.
- Sastiano,A. 1991. Karakterisasi Deposit Mineral Zeolit Dalam Aspek Pemanfaatan di Bidang Pertanian, Jilid I, Indonesia, Vol 1, Bogor.
- Schubert, U & Husing, N. 2000. *Synthesys of Inorganic Materials*. Federal Republic of Germany: Wiley-VHC.
- Scott, M.Averbach., Kathleen, A.Carrado., Prabir, K.Dutta. 2003. *Handbook of Zeolit Science and Technology*. New York: Marcel Dekker, Inc. ISBN: 0-8247-4020-3.
- Setiaka, Juniawan. 2011. Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Dalam Larutan Pada Abu Dasar Batubara Menggunakan Metode Kolom. *Prosiding Seminar Semester Genap 2010/2011*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Shigemoto, N., Sugiyama, S., Hayashi, H. dan Miyaura, K. 1995. Characterization of Na-X, Na-A and Coal Fly Ash Zeolit and Their Amorphous Precursors by IR, MAS NMR and XPS. *Mater. Sci.*, 30, 5777-5783.
- Skoog, D. A. 2001. *Fundamentals of Analytical Chemistry. Sixth Edition*. London: Saunders College Publishing.
- Silverstein. 2002. *Identification of Organic Compound, 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Smart, L & Moore, E. 1993. *Solid State Chemistry: An Introduction. first edition*. London: Chapman & Hall University and Professional Division.
- Suardana, I.N. 2003. Optimalisasi daya adsorpsi zeolit terhadap ion chrom (III), *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains dan Humaniora* 2:1 (2003) 17-33.
- Sukandarrumidi. 1999. *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press. 185 – 186.
- Sukardjo. 1990. *Ikatan Kimia*. Yogyakarta: Rineka Cipta.
- Sunardi, Abdullah. 2007. Konversi Abu Layang Batubara Menjadi Zeolit dan Pemanfaatannya Sebagai Adsorben Merkuri (II). Banjarbaru: Fakultas MIPA UNLAM.
- 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*, Vol.2, No. 3: 115-120.
- Sutarti, Mursi dan Rahmawati, Minta. 1994. *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah. Jakarta.

- Szostak, Rosemarie. 1976. *Molecular Sieves: Principles of Synthesis and Identification*. New York: Van Nostrand Reinhold. ISBN: 978-94-010-9529-7.
- Tan, K.H. 1991. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tanaka, H. et al., 2002. Formation of Na-A and Na-X Zeolites from waste solutions in conversion of coal fly ash to zeolites, *Materials Research Bulletin*, Vol. 37, hal. 1873-1884.
- Wahyu, Widowati. 2006. *Efek Toksik Logam*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Wahyuni, Suci & Widiastuti, Nurul. 2009. Adsorpsi Ion Logam Zn(II) pada Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batubara PT IPMOMI Paiton dengan Metode Batch. *Prosiding Tugas Akhir Semester Ganjil 2009/2010*. Jurusan Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Wang, C.F., Li, J.S., Wang, L.J. dan Sun, X.Y. (2008). Influence of NaOH Concentrations on Synthesis of Pure-form Zeolit A from Fly Ash Using Two-Stage Method. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 155, hal. 58–64.
- West, A.R. 1984. *Solid State Chemistry and Its Applications*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Widjajanti, Endang., Regina, T.P., dan M. Pranjoto Utomo. 2011. Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- 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.
- Yvonne, T dan Robert, W. Thompson. 2002. Controlled Co-Crystallization of Zeolites A and X. *Journal of Material Chemistry*. Vol 12 , hal 496-499.
- Zakaria, Ahmad. 2011. Adsorpsi Logam Cu(II) Menggunakan Zeolit Sintesis dari Abu Terbang Batubara. *Tesis*. Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian 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

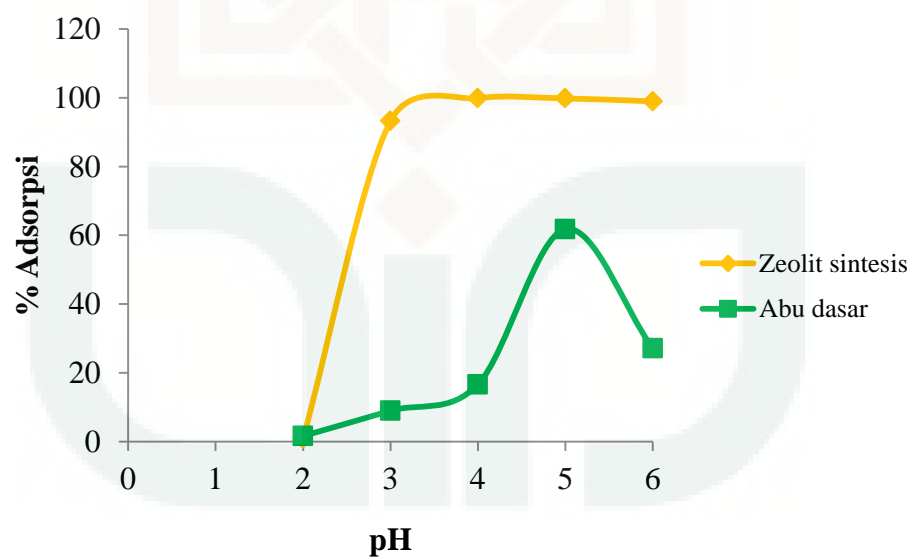
Keterangan: W<sub>0</sub> = Massa cawan kosong  
W<sub>1</sub> = Massa cawan + abu dasar sebelum dikalsinasi  
W<sub>2</sub> = Massa cawan + abu dasar setelah dikalsinasi

## Lampiran 2. Perhitungan Pada Variasi pH

Volume larutan Cu(II) = 15 mL

Tabel 2. Hasil perhitungan pada variasi pH

Adsorben	pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Cu teradsorp (mg/L)	% Adsorpsi
Zeolit sintesis	2	66,501	65,957	0,544	0,82
	3	66,501	4,508	61,993	93,22
	4	66,501	0,093	66,408	99,86
	5	66,501	0,127	66,374	99,81
	6	66,501	0,698	65,803	98,95
Abu dasar	2	66,501	65,444	1,057	1,59
	3	66,501	60,545	5,956	8,96
	4	66,501	55,465	11,036	16,60
	5	66,501	25,425	41,076	61,77
	6	66,501	48,460	18,041	27,13

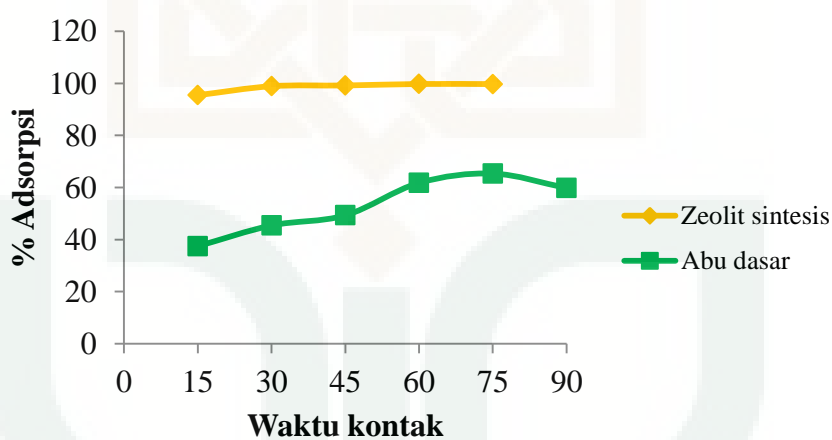


Gambar 1. Grafik hubungan antara pH dengan % adsorpsi

### 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	0,015	0,15	66,501	41,593	37,46
	30	0,015	0,15	66,501	36,288	45,43
	45	0,015	0,15	66,501	33,702	49,32
	60	0,015	0,15	66,501	25,425	61,77
	75	0,015	0,15	66,501	23,043	65,35
	90	0,015	0,15	66,501	26,718	59,82
Zeolit sintesis	15	0,015	0,05	66,501	3,021	95,46
	30	0,015	0,05	66,501	0,733	98,90
	45	0,015	0,05	66,501	0,536	99,19
	60	0,015	0,05	66,501	0,160	99,76
	75	0,015	0,05	66,501	0,191	99,71



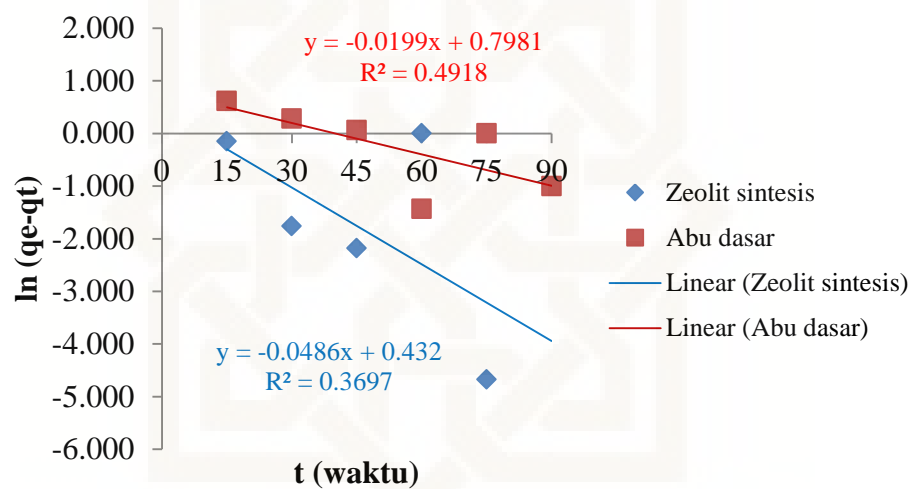
Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu kontak dengan % adsorpsi

Tabel 4. Penentuan orde reaksi pada adsorben abu dasar

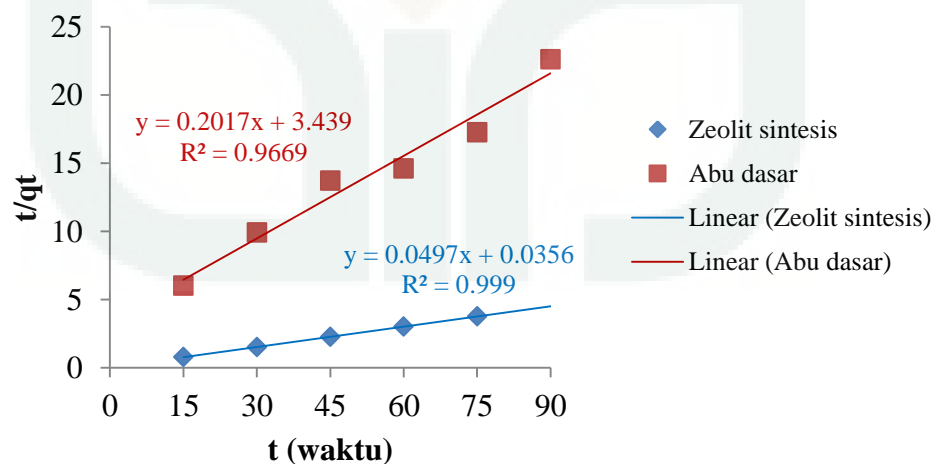
t (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	qt (mg/g)	qe-qt	ln (qe-qt)	t/qt
15	66,501	41,593	4,3458	2,4908	1,8550	0,6178	6,0222
30	66,501	36,288	4,3458	3,0213	1,3245	0,2810	9,9295
45	66,501	33,702	4,3458	3,2799	1,0659	0,0638	13,7200
60	66,501	25,425	4,3458	4,1076	0,2382	-1,4346	14,6070
75	66,501	23,043	4,3458	4,3458	0	0	17,2580
90	66,501	26,718	4,3458	3,9783	0,3675	-1,0010	22,6227

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	66,501	3,021	19,902	19,044	0,858	-0,153	0,788
30	66,501	0,733	19,902	19,730	0,172	-1,761	1,520
45	66,501	0,536	19,902	19,789	0,113	-2,182	2,274
60	66,501	0,160	19,902	19,902	0	0	3,015
75	66,501	0,191	19,902	19,893	0,009	-4,678	3,770



Gambar 3. Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde pertama



Gambar 4. Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde kedua



## a. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Pertama

### 1. Adsorben Abu Dasar

#### 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  $y = -0,0199x + 0,7981$ ,  $R^2 = 0,4918$ , maka:

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

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

$$-k_1 t = -0,0199$$

$$k_1 = 0,020 \text{ menit}^{-1}.$$

$$\ln q_e = 0,7981$$

$$q_e = 2,221 \text{ mg/g}.$$

### 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  $y = -0,0486x + 0,432$ ,  $R^2 = 0,3697$ , maka:

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

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

$$-k_1 t = -0,0486$$

$$k_1 = 0,0486 \text{ menit}^{-1}.$$

$$\ln q_e = 0,432$$

$$q_e = 1,540 \text{ mg/g}.$$

## b. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Kedua

### 1. Adsorben Abu Dasar

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{1}{qe} t$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{qe} t + \frac{1}{k_2 qe^2}$$

Persamaan garis lurus  $y = 0,2017x + 3,439$ ,  $R^2 = 0,9669$ , maka:

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

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

$$\frac{1}{qe} = 0,2017$$

$$qe = 4,958 \text{ mg/g.}$$

$$\frac{1}{k_2 qe^2} = 3,439$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{qe^2} = 3,439$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(4,958)^2} = 3,439$$

$$\frac{1}{(24,580)k_2} = 3,439$$

$$k_2 = \frac{1}{(24,580)(3,439)}$$

$$k_2 = 0,012 \text{ g/mg.menit}^{-1}$$

### 2. Adsorben Zeolit Sintesis

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{1}{qe} t$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{qe} t + \frac{1}{k_2 qe^2}$$

Persamaan garis lurus  $y = 0,0497x + 0,0356$ ,  $R^2 = 0,9999$ , maka:

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

$$\frac{1}{q_e} = 0,0497$$

$$q_e = 20,121 \text{ mg/g.}$$

$$\frac{1}{k_2 q_e^2} = 0,0356$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{q_e^2} = 0,0356$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(20,121)^2} = 0,0356$$

$$\frac{1}{(404,843)k_2} = 0,0356$$

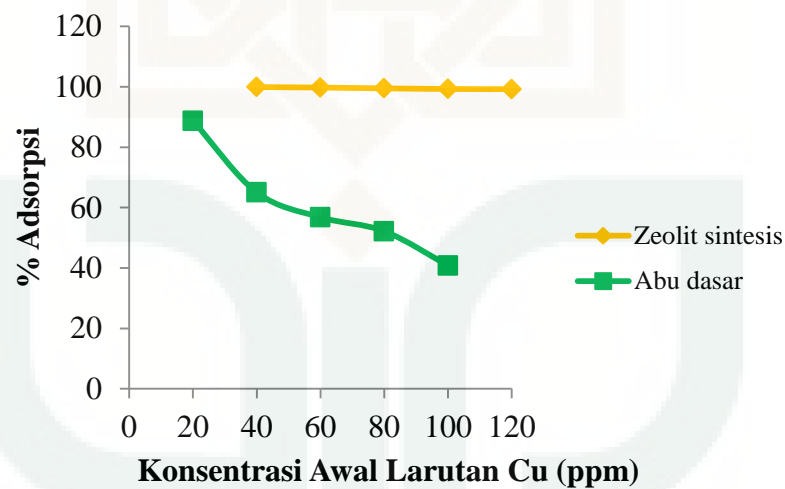
$$k_2 = \frac{1}{(404,843)(0,0356)}$$

$$k_2 = 0,069 \text{ g/mg.menit}^{-1}$$

#### 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	20	2,248	17,752	88,76
	40	13,981	26,019	65,05
	60	25,929	34,071	56,79
	80	38,257	41,743	52,18
	100	59,230	40,770	40,77
Zeolit sintesis	40	0,045	39,955	99,89
	60	0,165	59,835	99,73
	80	0,108	79,892	99,87
	100	0,536	99,464	99,46
	120	0,964	119,036	99,20

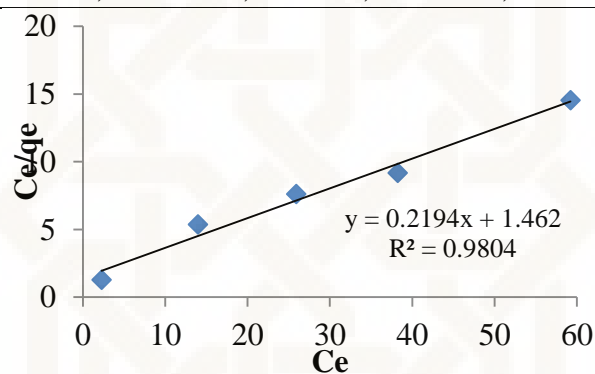


Gambar 5. Grafik hubungan antara konsentrasi awal larutan Cu dengan % adsorpsi

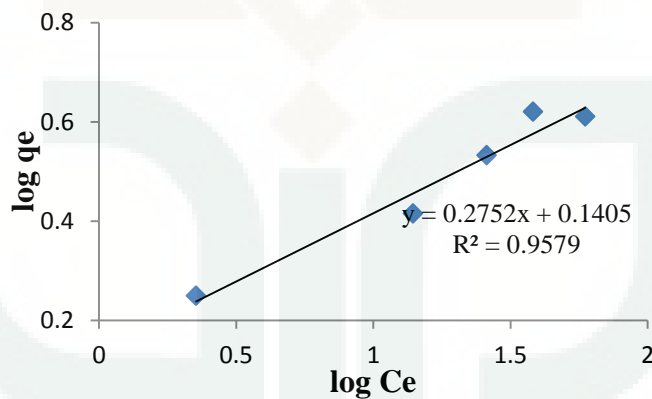
## 1. Adsorben Abu Dasar

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 (g/L)	log Ce	log qe
20	2,248	0,015	0,15	1,7752	1,26634	0,35180	0,24925
40	13,981	0,015	0,15	2,6019	5,37338	1,14554	0,41529
60	25,929	0,015	0,15	3,4071	7,61028	1,41379	0,53238
80	38,257	0,015	0,15	4,1743	9,16489	1,58271	0,62058
100	59,230	0,015	0,15	4,0770	14,5278	1,77254	0,61034



Gambar 6. Grafik isoterm Langmuir pada adsorben abu dasar



Gambar 7. Grafik isoterm Freundlich pada adsorben abu dasar

### Persamaan Langmuir:

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{q_{\max}} Ce + \frac{1}{K_L q_{\max}}$$

Persamaan garis lurus :  $y = 0,2194x + 1,462$ ,  $R^2 = 0,9804$

$$\text{Satuan slope} = \frac{dy}{dx} = \frac{Ce/qe}{Ce} = \frac{g/L}{mg/L} = g/mg$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{q_{\max}} = 0,2194 \text{ g/mg}$$

$$q_{\max} = 4,558 \text{ mg/g}$$

$$\text{Satuan intercept} = \text{sumbu } y = \frac{Ce}{qe} = \frac{mg/L}{mg/g} = g/L$$

$$\text{Intercept} = \frac{1}{K_L q_{\max}} = 1,462 \text{ g/L}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1,462 \text{ g/L}}{1/q_{\max}}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1,462 \text{ g/L}}{0,2194 \text{ g/mg}}$$

$$1,462 \text{ g/L} \times K_L = 0,2194 \text{ g/mg}$$

$$K_L = \frac{0,2194 \text{ g/mg}}{1,462 \text{ g/L}}$$

$$K_L = 0,150 \text{ mg/L}$$

### Persamaan Freundlich:

$$\log qe = \frac{1}{n} \log Ce + \log K_F$$

$$\text{Persamaan garis lurus : } y = 0,2752x + 0,1405, R^2 = 0,9579$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{n} = 0,2752$$

$$n = 3,634$$

$$\text{Intercept} = qe = mg/g$$

$$\text{Log } K_F = 0,1405$$

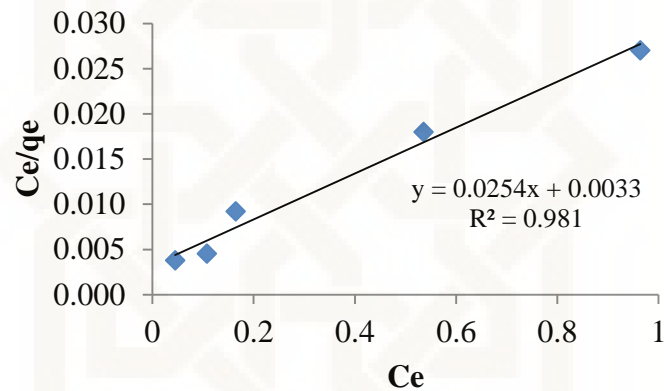
$$K_F = 10^{0,1405}$$

$$K_F = 1,382$$

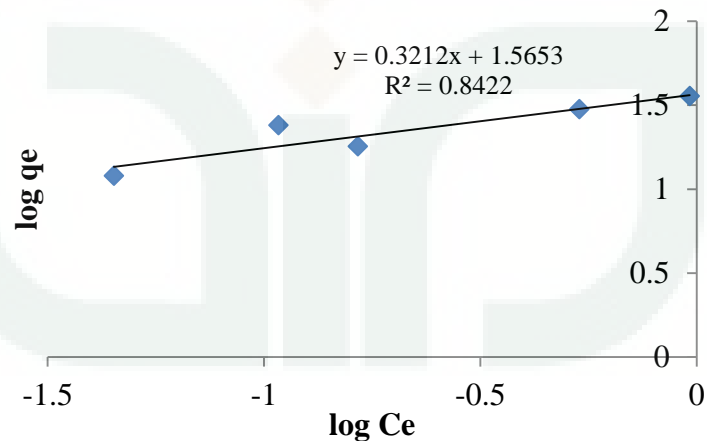
## 2. Adsorben Zeolit Sintesis

Tabel 8. Penentuan isoterm adsorpsi pada adsorben zeolit sintesis

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Volume larutan Cu (L)	Massa adsorben (gram)	qe (mg/g)	Ce/qe (g/L)	log Ce	log qe
40	0.045	0.015	0.05	11.9865	0.00375	-1.3468	1.07869
60	0.165	0.015	0.05	17.9505	0.00919	-0.7825	1.25408
80	0.108	0.015	0.05	23.9676	0.00451	-0.9666	1.37962
100	0.536	0.015	0.05	29.8392	0.01796	-0.2708	1.47479
120	0.964	0.015	0.05	35.7108	0.02699	-0.0159	1.5528



Gambar 8. Grafik isoterm Langmuir pada adsorben zeolit sintesis



Gambar 9. Grafik isoterm Freundlich pada adsorben zeolit sintesis

### Persamaan Langmuir:

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{q_{\max}} Ce + \frac{1}{K_L q_{\max}}$$

Persamaan garis lurus :  $y = 0,0254x + 0,0033, R^2 = 0,981$

$$\text{Satuan slope} = \frac{dy}{dx} = \frac{Ce/qe}{Ce} = \frac{g/L}{mg/L} = g/mg$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{q_{\max}} = 0,0254 \text{ g/mg}$$

$$q_{\max} = 39,370 \text{ mg/g}$$

$$\text{Satuan intercept} = \text{sumbu } y = \frac{Ce}{qe} = \frac{mg/L}{mg/g} = g/L$$

$$\text{Intercept} = \frac{1}{K_L q_{\max}} = 0,0033 \text{ g/L}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{0,0033 \text{ g/L}}{1/q_{\max}}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{0,0033 \text{ g/L}}{0,0254 \text{ g/mg}}$$

$$0,0033 \text{ g/L} \times K_L = 0,0254 \text{ g/mg}$$

$$K_L = \frac{0,0254 \text{ g/mg}}{0,0033 \text{ g/L}}$$

$$K_L = 7,697 \text{ mg/L}$$

### **Persamaan Freundlich:**

$$\log qe = \frac{1}{n} \log Ce + \log K_F$$

$$\text{Persamaan garis lurus : } y = 0,3212x + 1,5653, R^2 = 0,8422$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{n} = 0,3212$$

$$n = 3,113$$

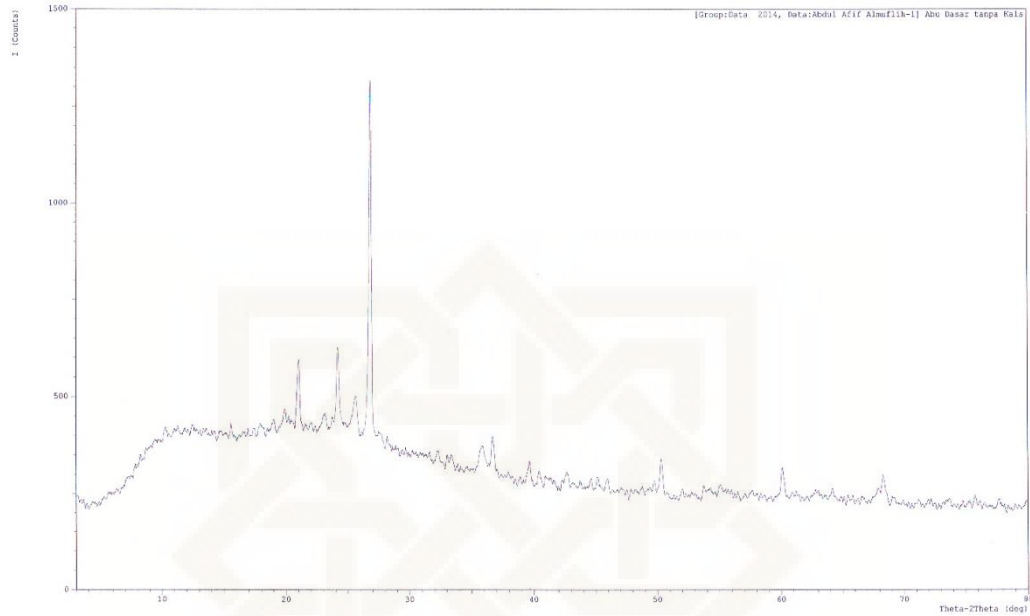
$$\text{Intercept} = qe = mg/g$$

$$\text{Log } K_F = 1,5653$$

$$K_F = 10^{1,5653}$$

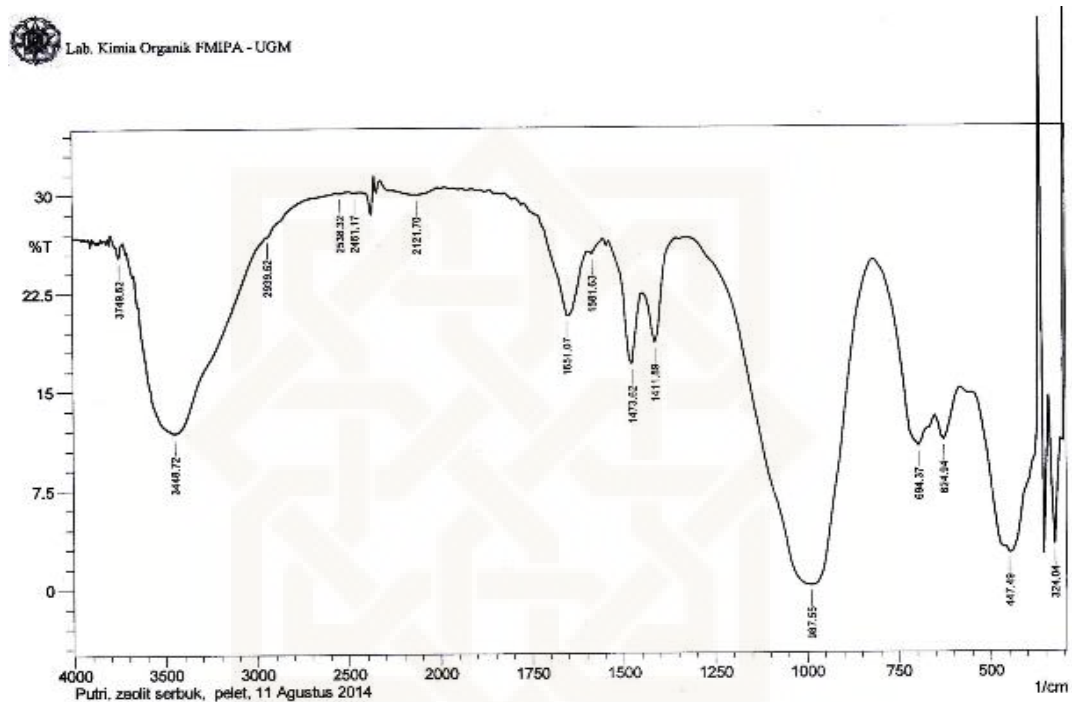
$$K_F = 36,754$$



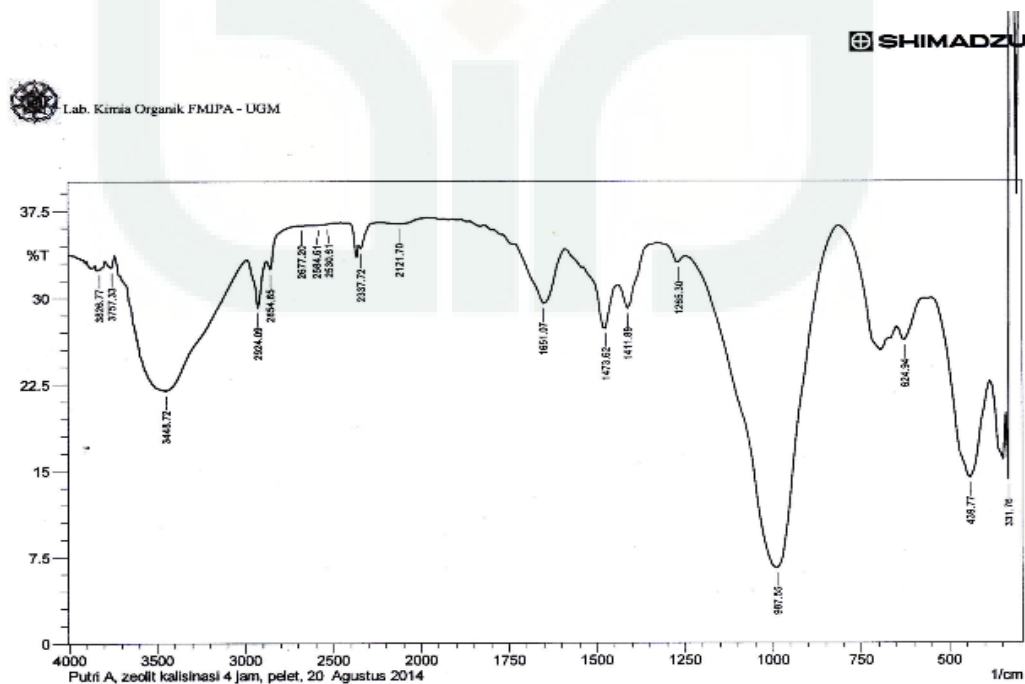
**Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Abu Dasar Batubara Menggunakan XRD**

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

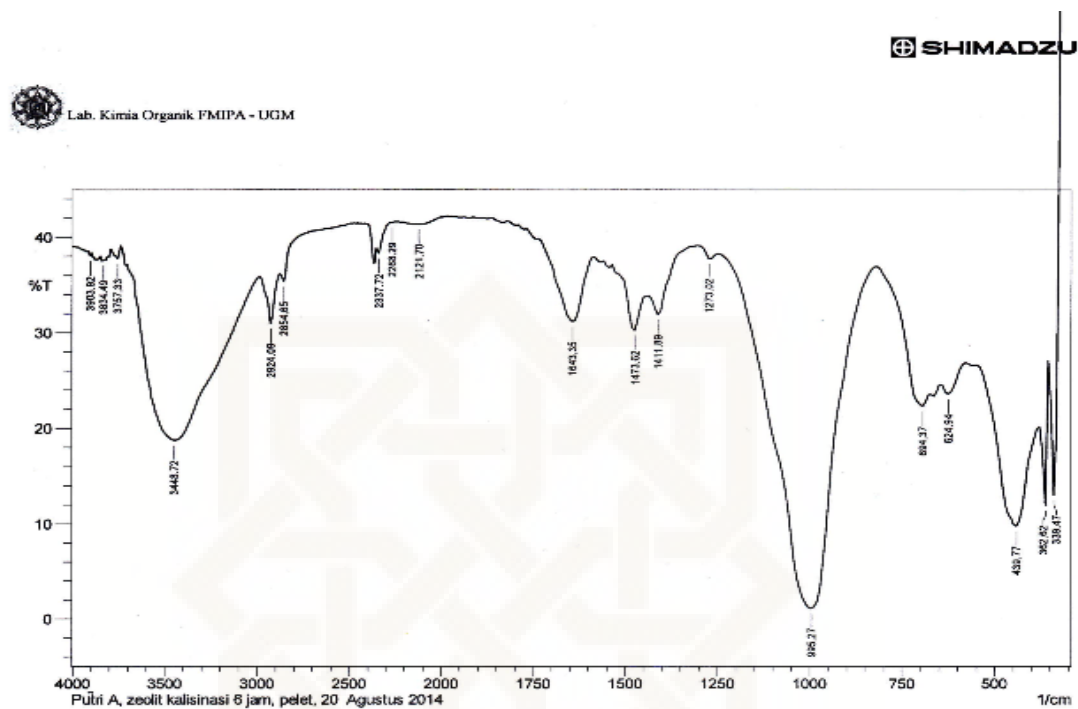
### a. Spektra IR Zeolit ZK2



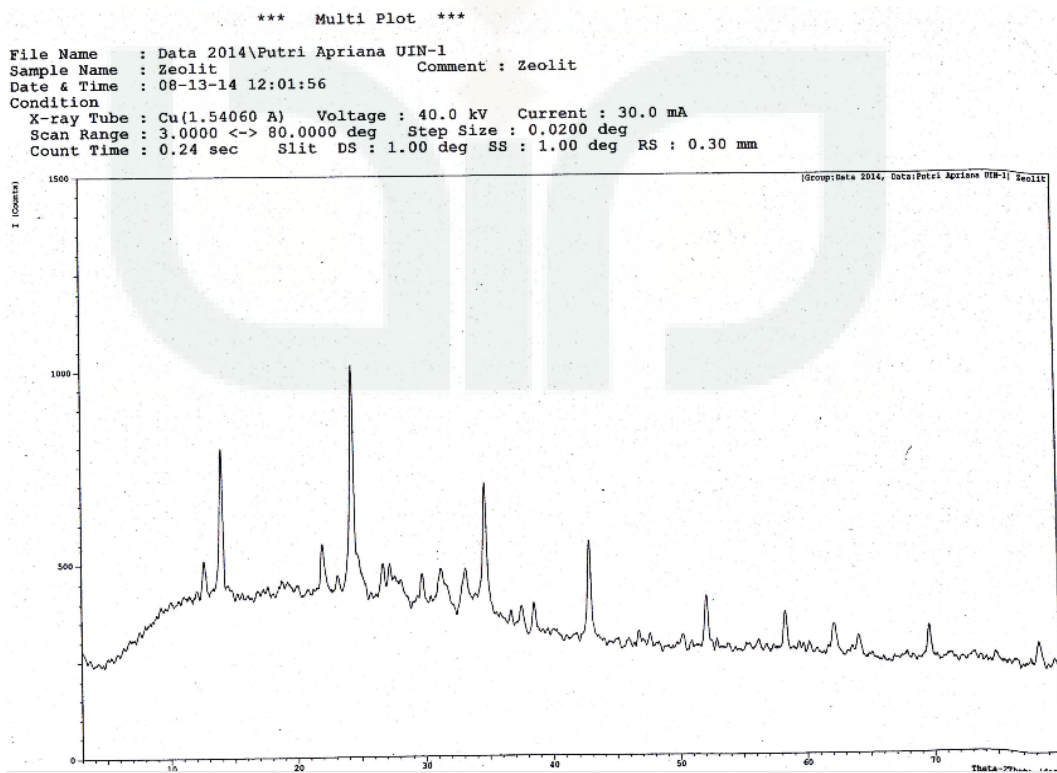
### b. Spektra IR Zeolit ZK4

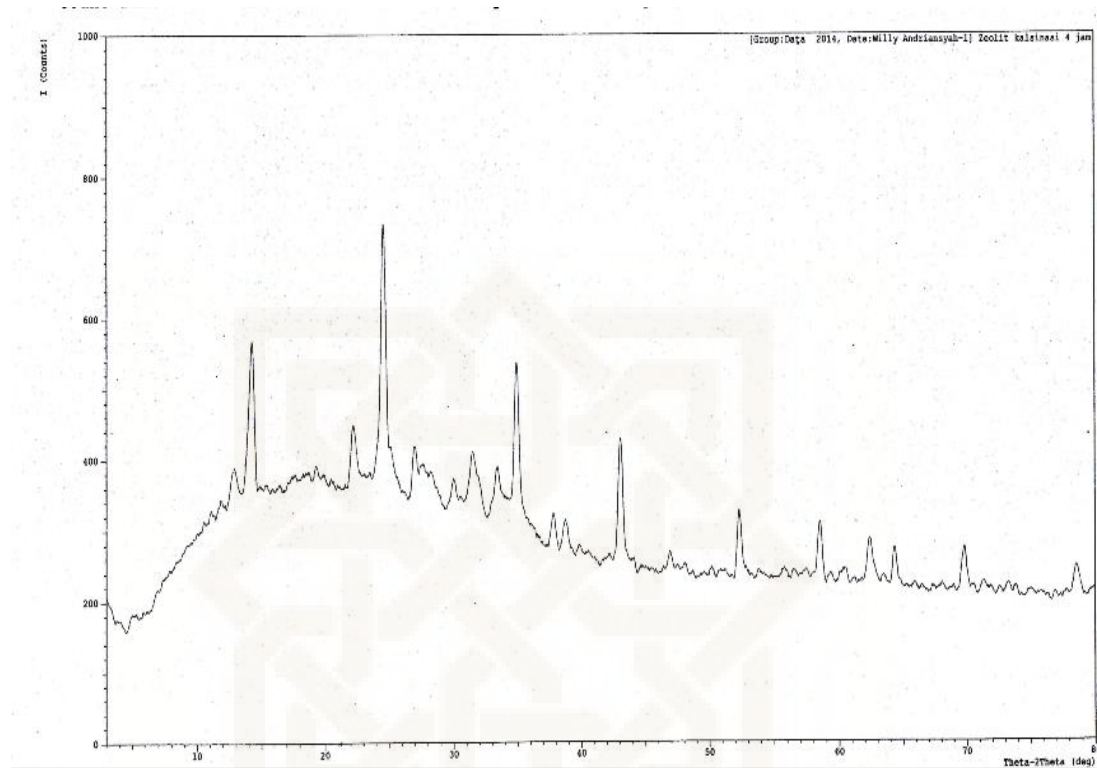
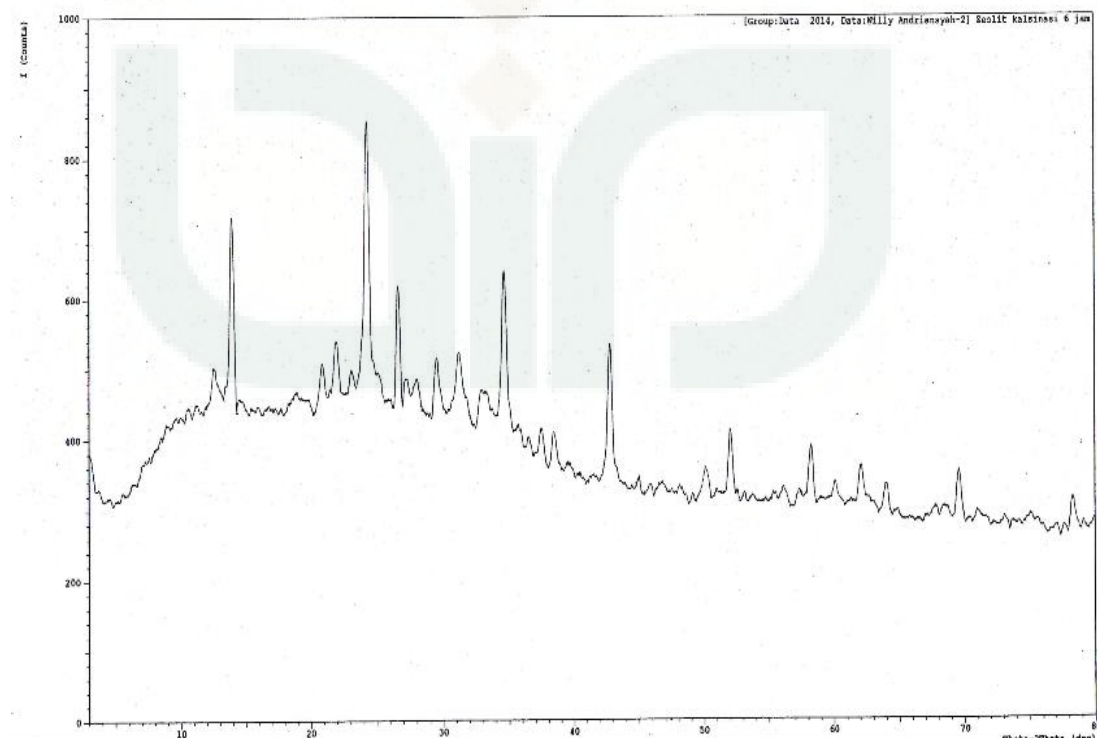


### c. Spektra IR Zeolit ZK6

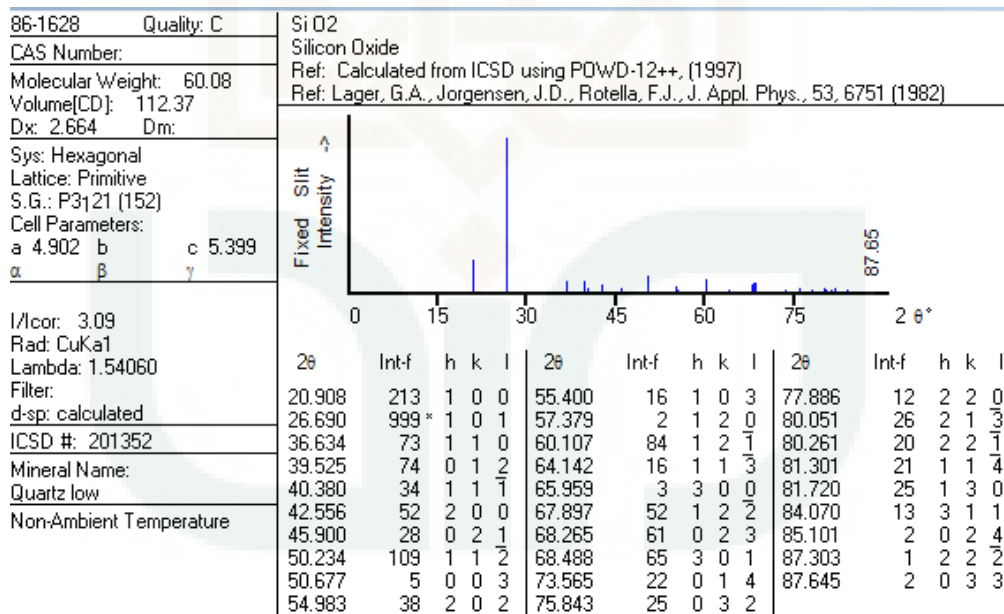
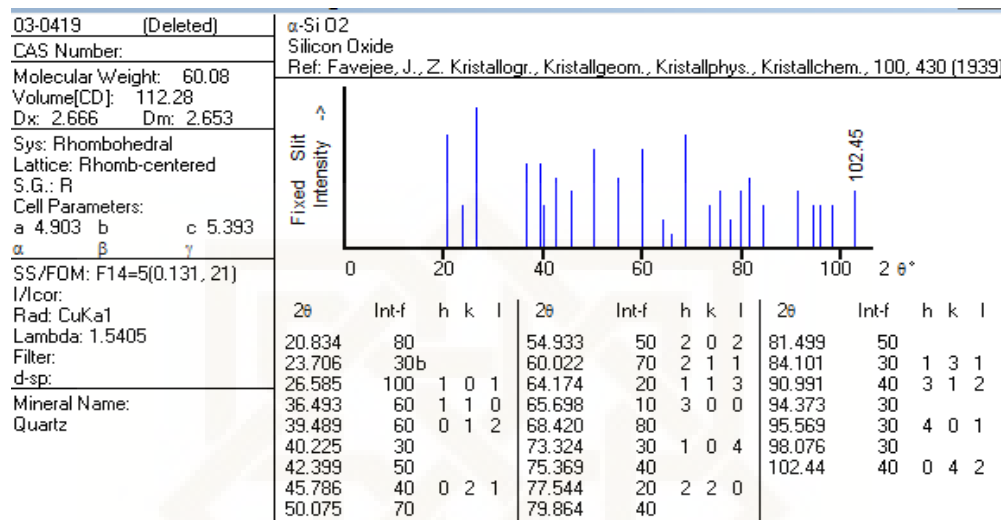


### d. Difraktogram Zeolit ZK2



**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/Cor: 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/FDM: F30=69(0111, 39)		
I/Cor: 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	

81-0106	Quality: C	Na <sub>8</sub> (Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>24</sub> )Br <sub>2</sub>
CAS Number:		Sodium Aluminum Silicate Bromide
Molecular Weight: 1058.11		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12+, (1997)
Volume[CD]: 712.60		Ref: Nielsen, N.C et al., Zeolites, 11, 622 (1991)
Dx: 2.466 Dm:		
Sys: Cubic		
Lattice: Primitive		
S.G.: P $\bar{4}3n$ (218)		
Cell Parameters:		
a 8.932 b c		
$\alpha$ $\beta$ $\gamma$		
I/Cor: 4.52		
Rad: CuK $\alpha$ 1		
Lambda: 1.54060		
Filter:		
d-sp: calculated		
ICSD #: 071433		
Mineral Name:		
Sodalite, syn		

2 $\theta$	Int-f	h	k	l	2 $\theta$	Int-f	h	k	l	2 $\theta$	Int-f	h	k	l
14.011	42	1	1	0	45.372	45	4	2	0	63.280	1	6	1	0
19.864	103	2	0	0	46.557	1	4	2	1	64.230	90	5	3	2
22.237	7	2	1	0	47.720	44	3	3	2	66.109	1	6	2	0
24.391	999*	2	1	1	49.984	16	4	2	2	67.038	1	6	2	1
28.237	19	2	2	0	51.088	1	4	3	0	67.960	8	5	4	1
31.652	4	3	1	0	52.175	12	5	1	0	69.787	11	6	2	2
34.765	82	2	2	2	55.345	1	4	3	2	70.693	1	6	3	0
36.232	1	3	2	0	56.375	42	5	2	1	71.594	38	6	3	1
37.650	233	3	2	1	58.399	67	4	4	0	73.381	20	4	4	4
40.359	32	4	0	0	60.379	11	5	3	0	75.152	2	5	5	0
41.658	1	4	1	0	61.355	1	5	3	1	76.908	9	6	4	0
42.924	251	3	3	0	62.322	71	6	0	0	77.782	1	6	4	1

12-0228	Quality: I	Na <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3.3</sub> O <sub>10.6</sub> ·7 H <sub>2</sub> O
CAS Number:		Sodium Aluminum Silicate Hydrate
Molecular Weight: 488.32		Ref: Barrer et al., J. Chem. Soc., 195 (1959)
Volume[CD]: 15308.41		
Dx: Dm:		
Sys: Cubic		
Lattice: Face-centered		
S.G.: Fd3m (227)		
Cell Parameters:		
a	b	c
α	β	γ
SS/FOM: F26=22(0.030, 40)		
I/lor:		
Rad: CuKα		
Lambda: 1.5418		
Filter:		
d-sp: other		
Mineral Name:		
Faujasite-Na, syn		
Also called:		
Faujasite		

2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l
6.181	100	1	1	1	24.870	10	4	4	4	33.041	1	8	4	2
10.109	80	2	2	0	25.634	10	5	5	1	33.824	40	6	6	4
11.784	80	3	1	1	26.845	40	6	4	2	34.454	20	9	3	1
15.518	100	3	3	1	27.607	10	7	3	1	35.423	10	8	4	4
18.562	40	5	1	1	29.439	20	7	3	3	37.618	20	10	2	2
20.228	80	4	4	0	30.552	40	6	6	0	39.344	1*	8	6	4
22.619	40	6	2	0	31.196	60	7	5	1	41.162	20	8	8	0
23.478	80	5	3	3	32.258	40	8	4	0	41.658	20	9	5	5
23.752	20	6	2	2	32.817	10	9	1	1					

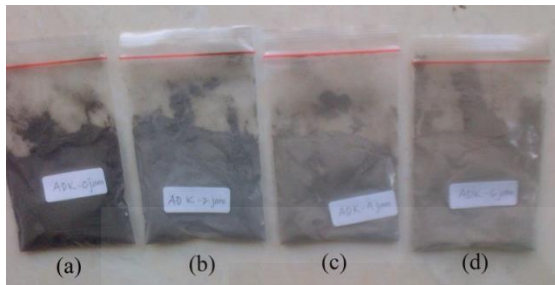
38-0239	Quality: I	Na <sub>1.88</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4.8</sub> O <sub>13.54</sub> ·9 H <sub>2</sub> O
CAS Number:		Sodium Aluminum Silicate Hydrate
Molecular Weight: 610.76		Ref: Breck, D., 3,130,007, U.S. Patent, (1964)
Volume[CD]: 15118.69		
Dx: Dm:		
Sys: Cubic		
Lattice: Face-centered		
S.G.: F		
Cell Parameters:		
a	b	c
α	β	γ
SS/FOM: F30=15(0.036, 57)		
I/lor:		
Rad: CuKα		
Lambda: 1.5418		
Filter:		
d-sp: diffractometer		
Mineral Name:		
Faujasite-Na, syn		
Also called:		
Zeolite Y		

2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l
6.181	100	1	1	1	29.579	8	7	3	3	41.820	2	9	5	5
10.132	18	2	2	0	30.832	11	6	6	0	42.647	1	8	6	6
11.879	12	3	1	1	31.387	24	5	5	5	43.073	4	11	3	3
15.628	31	3	3	1	32.438	8	8	4	0	43.953	2	12	0	0
18.680	13	3	3	3	33.054	2	7	5	3	47.085	1	8	8	6
20.321	20	4	4	0	34.089	8	6	6	4	47.608	2	10	8	2
22.801	7	6	2	0	34.632	4	9	3	1	48.971	1	11	7	3
23.598	30	5	3	3	35.626	1	8	4	4	50.417	1	9	9	5
24.941	2	4	4	4	37.151	1	8	6	2	51.639	1	11	7	5
25.748	3	5	5	1	37.799	5	10	2	2	52.273	3	10	8	6
27.019	20	6	4	2	40.448	1	11	1	1	53.933	4	9	9	7
27.703	4	7	3	1	41.418	3	8	8	0					

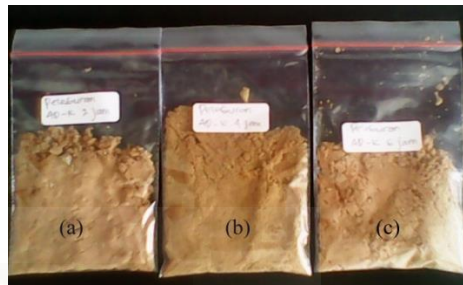
89-6322	Quality: C	Na <sub>8</sub> (Al <sub>8</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>32</sub> )(H <sub>2</sub> O) <sub>15.17</sub>
CAS Number:		Sodium Aluminum Oxide Silicate Hydrate
Molecular Weight: 1409.73		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++
Volume[CD]: 1019.52		Ref: Albert, B.R et al., Microporous Mesoporous Mater., 21, 133 (1998)
Dx: 2.296		
Dm:		
Sys: Monoclinic		
Lattice: End-centered		
S.G.: C2/c (15)		
Cell Parameters:		
a	b	c
α	β	γ
I/lor: 0.51		
Rad: CuKα1		
Lambda: 1.54060		
Filter:		
d-sp: calculated		
ICSD #: 087553		
Also called:		
Zeolite NaP, syn		

2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l
12.393	763	1	1	0	28.185	999*	3	1	3	35.953	82	0	4	0
12.514	456	1	1	1	28.185	999*	1	3	1	37.381	63	3	1	1
17.366	331	2	0	0	30.673	132	0	2	2	37.513	49	5	1	1
17.713	302	2	0	2	30.831	109	4	2	2	37.788	11	3	3	0
17.713	302	0	2	0	33.019	172	2	2	1	38.022	42	3	1	4
21.517	227	3	1	1	33.130	534	4	2	1	38.153	89	5	1	4
21.673	651	0	2	1	33.130	534	1	1	3	38.153	89	3	3	3
21.673	651	2	2	1	33.401	451	2	2	3	39.496	8	2	0	2
24.934	11	2	2	0	33.401	451	5	1	3	39.642	9	4	2	0
24.934	11	4	0	2	33.510	325	4	2	3	39.749	7	6	0	2
25.181	24	2	2	2	33.510	325	3	3	2	39.986	4	2	0	4
27.683	605	3	1	0	35.148	15	4	0	0	40.189	15	2	4	0

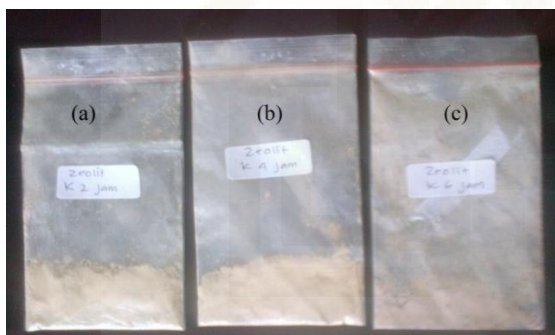
## Lampiran 8. Dokumentasi penelitian



Gambar 1. Abu dasar batubara (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) 4 jam, dan (c) 6 jam.



Gambar 3. Zeolit hasil sintesis (a) ZK2, (b) ZK4, dan (c) ZK6.



Gambar 4. Teflon hidrotermal *autoclave*



Gambar 5. Larutan standar Cu(II) 500 ppm



Gambar 6. Adsorpsi logam Cu(II) pada sistem *batch* menggunakan *shaker waterbath*.