

**TRANSFORMASI ABU DASAR BATUBARA DENGAN VARIASI
WAKTU KAL SINASI PADA SUHU 800 °C MENJADI ZEOLIT SINTESIS
DAN APLIKASINYA UNTUK MENGADSORPSI LOGAM Cr(III)**

**Skripsi
Untuk memenuhi sebagai persyaratan
Mencapai derajat sarjana S-1
Program Studi Kimia**



**Oleh:
Willy Andriansyah
10630006**

**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 konsultan berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Willy Andriansyah

NIM : 10630006

Judul Skripsi : **Transformasi Abu Dasar Batubara Menjadi Zeolit Sintesis Berdasarkan Variasi Waktu Kalsinasi Pada Suhu 800°C dan Aplikasinya Untuk Mengadsorpsi Logam Cr (III)**

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, 7 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 : Willy Andriansyah

NIM : 10630006

Judul Skripsi : Transformasi Abu Dasar Batubara dengan Variasi Waktu Kalsinasi pada Suhu 800 °C Menjadi Zeolit Sintesis dan Aplikasinya untuk Mengadsorpsi Logam Cr(III)

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, 4 Februari 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 : Willy Andriansyah

NIM : 10630006

Judul Skripsi : Transformasi Abu Dasar Batubara dengan Variasi Waktu Kalsinasi pada Suhu 800 °C Menjadi Zeolit Sintesis dan Aplikasinya untuk Mengadsorpsi Logam Cr(III)

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, 4 Februari 2015

Konsultan

Sudarlin, M.Si.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Willy Andriansyah

NIM : 10630006

Program Studi : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

Judul Skripsi : Transformasi Abu Dasar Batubara dengan Variasi Waktu Kalsinasi
Pada Suhu 800 °C Menjadi Zeolit Sintesis dan Aplikasinya untuk
Mengadsorpsi Logam Cr(III)

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejurnya, bahwa skripsi saya ini adalah hasil penelitian 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 tinggi lain. Kecuali pada bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan. Apabila terbukti ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 30 Desember 2014

Yang menyatakan



Willy Andriansyah
NIM. 10630006

**PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/430/2015

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Transformasi Abu Dasar Batubara dengan Variasi Waktu Kalsinasi Pada Suhu 800°C Menjadi Zeolit Sintesis dan Aplikasinya Untuk Mengadsorpsi Logam Cr (III)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

Nama : Willy Andriansyah

NIM : 10630006

Telah dimunaqasyahkan pada : 27 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

Pengaji I

Pedy Artsanti, M.Sc

Pengaji II

Sudarlin, S.Si., M.Sc.

Yogyakarta, 4 Februari 2015

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi

Plt. Dekan



Khamidinal, M.Si.
NIP. 19691105 200003 1 002

MOTTO

"*Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri*"

(Qs. At-Ta'abat: 11)

"*Menuntut Ilmu Adalah Taqwa, Menyampaikan Ilmu Adalah Ibadah, Mengulang-Ulang Ilmu Adalah Zikir, Mencari Ilmu Adalah Jihad*"

(Al-Ghazali)

*Aku Bukanlah Orang Yang Hebat, Tapi Aku Mau Belajar Dari Orang-Orang Yang Hebat,
Aku adalah Orang Biasa, Tapi Aku Ingin Membuat Seseorang Menjadi Istimewa.*

HALAMAN PERSEMPAHAN

Karya ini penulis persembahkan kepada Ibu dengan wejangannya
yang selalu penulis ingat “Apa yang kamu tanam, itu yang kamu
petik” dan untuk keluarga penulis yang selalu memberi dukungan,
baik secara moril maupun materil

Karya ini juga penulis dedikasikan untuk Almamater penulis
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta, untuk Program
Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta dan kawan-kawan
seperjuangan Kimia Angkatan 2010

KATA PENGANTAR



Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Berkat limpahan nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini dengan lancar tanpa halangan apapun. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan dan teladan kita, Nabi Muhammad SAW beserta keluarganya. Skripsi dengan judul “*Transformasi Abu Dasar Batubara dengan Variasi Waktu Kalsinasi pada Suhu 800 °C Menjadi Zeolit Sintesis dan Aplikasinya untuk Mengadsorpsi Logam Cr(III)*“.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Kimia dari Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Prof. Drs. H. Akh. Minhaji, MA, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Esti Wahyu Widowati, M.Si., M.Biotech., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Khamidinal, M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, dan masukan selama proses penyusunan skripsi.
4. Maya Rahmayanti, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mengarahkan dan memotivasi selama masa studi.

5. Pedy Artsanti, M.Sc., dan Sudarlin, M.Si., selaku penguji dan konsultan skripsi. Terima kasih atas bimbingan dan arahannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Nina Hamidah, S.Si., M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ijin penelitian.
7. Rudy Syahputra, Ph.D., selaku Kepala Laboratorium terpadu FMIPA Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang telah memberikan ijin penelitian baik pada jam kerja maupun di luar jam kerja.
8. Bapak Budi, selaku staff Pabrik Spiritus Madukismo yang telah memberikan ijin dalam pengambilan sampel abu dasar batubara.
9. Dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
10. A. Wijayanto, S.Si., Indra Nafiyanto, S.Si., dan Isni Gustanti, S.Si., selaku Laboran Laboratorium Kimia yang telah melayani dan mengajari cara pemakaian peralatan Laboratorium selama proses penelitian.
11. Seluruh staff karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam urusan administrasi.
12. Kedua orang tua dan keluarga besar penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik secara moril maupun materi.
13. Rekan-rekan seperjuangan (T. Lukman, Hargian. S, Novi. S, dan Putri. A) yang telah membantu dan bekerjasama selama proses penelitian.
14. Kawan-kawan sebangsa dan setanah air, khususnya kawan-kawan Program Studi Kimia angkatan 2010.

15. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan dorongan dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu Kesempurnaan hanya milik Allah S.W.T.

Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak. Penulis juga menyadari bahwa isi dari skripsi ini masih belum sempurna, untuk itu penulis haturkan maaf jika masih ada kekurangan di dalam penyusunan skripsi ini.

Yogyakarta, Desember 2014



Willy Andriansyah
NIM.10630006

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN NOTA DINAS KONSULTASI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
ABSTRAK	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
A. Tinjauan Pustaka	6
B. Landasan Teori.....	8
1. Abu dasar	8
2. Zeolit	9
3. Kalsinasi.....	15
4. Hidrotermal	17
5. Adsorpsi	18
6. Isoterm adsorpsi.....	20
7. Kinetika adsorpsi	23
8. Logam kromium (Cr).....	26
9. XRF.....	29
10.FT-IR	30
11.XRD.....	31
12.AAS	33
BAB III METODE PENELITIAN	36
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
B. Alat Penelitian.....	36
C. Bahan Penelitian.....	36

D. Cara Kerja Penelitian.....	37
1. Preparasi awal abu dasar	37
2. Peleburan dengan NaOH.....	37
3. Sintesis zeolit.....	37
4. Uji adsorpsi terhadap logam Cr(III)	37
E. Teknik Analisis Data	38
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
A. Karakterisasi Abu Dasar dan Zeolit Sintesis	40
1. Karakterisasi menggunakan XRF	40
2. Karakterisasi menggunakan FT-IR.....	41
3. Karakterisasi menggunakan XRD	46
B. Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cr(III)	50
1. Variasi pH	50
2. Variasi waktu kontak	52
3. Variasi konsentrasi larutan logam Cr(III)	56
 BAB V PENUTUP	62
A. Kesimpulan	62
B. Saran	63
 DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Unit bangunan zeolit	10
Gambar 2.2 Unit sodalit	11
Gambar 2.3 Sodalit dirangkai membentuk struktur zeolit A dan faujasit	12
Gambar 2.4 Struktur zeolit Y	12
Gambar 2.5 Struktur zeolit P	13
Gambar 2.6 <i>Autoclave</i>	17
Gambar 2.7 Kurva isoterm adsorpsi	22
Gambar 2.8 Grafik persamaan linier kinetika adsorpsi pseudo-orde satu ...	25
Gambar 2.9 Grafik persamaan linier kinetika adsorpsi pseudo-orde dua....	26
Gambar 2.10 Spesiasi Cr(III) sebagai fungsi pH.....	28
Gambar 2.11 Skema spektrofotometer XRF DX-95	29
Gambar 2.12 Komponen dasar spektrofotometer FT-IR	30
Gambar 2.13 Skema spektrofotometer XRD	32
Gambar 2.14 Geometri Bragg	33
Gambar 2.15 Skema spektrofotometer AAS	35
Gambar 4.1 Spektra FT-IR zeolit sintesis hasil transformasi dari abu dasar yang dikalsinasi pada suhu 800 °C dengan variasi waktu kalsinasi 2, 4, dan 6 jam.....	42
Gambar 4.2 Difraktogram sinar-X abu dasar.....	46
Gambar 4.3 Difraktogram FT-IR zeolit sintesis hasil transformasi dari abu dasar yang dikalsinasi pada suhu 800 °C dengan variasi waktu kalsinasi 2, 4, dan 6 jam	47
Gambar 4.4 Grafik hubungan pH dengan % logam Cr(III) teradsorp	50

Gambar 4.5	Grafik hubungan waktu kontak dengan % logam Cr(III) teradsorp	53
Gambar 4.6	Grafik kinetika adsorpsi pseudo-orde dua.....	55
Gambar 4.7	Grafik hubungan konsentrasi dengan % logam Cr(III) teradsorp	57
Gambar 4.8	Adsorpsi <i>monolayer</i>	59
Gambar 4.9	Grafik isoterm adsorpsi Langmuir zeolit sintesis hasil dari transformasi abu dasar yang dikalsinasi pada waktu 4 jam.	60
Gambar 4.10	Grafik isoterm adsorpsi Langmuir	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi kimia abu dasar	9
Tabel 2.2 Karakteristik beberapa oksida dan ion kromium.....	27
Tabel 2.3 Sifat fisik berbagai unsur	28
Tabel 2.4 Asam dan basa menurut prinsip HSAB dari Pearson	28
Tabel 4.1 Komposisi kimia abu dasar Pabrik Spiritus Madukismo Yogyakarta.....	40
Tabel 4.2 Kinetika Adsorpsi kromium (III)	54
Tabel 4.3 Isoterm adsorpsi kromium (III)	58

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan kadar karbon dalam abu dasar batubara.....	71
Lampiran 2. Perhitungan variasi pH	72
Lampiran 3. Perhitungan variasi waktu kontak	73
Lampiran 4. Perhitungan variasi konsentrasi	79
Lampiran 5. Hasil karakterisasi zeolit sintesis menggunakan FT-IR	86
Lampiran 6. Hasil karakterisasi abu dasar batubara menggunakan XRD	88
Lampiran 7. Hasil karakterisasi zeolit sintesis menggunakan XRD.....	89
Lampiran 8. Data JCPDS kuarsa, mullit, hematit, sodalit, Na-Y, dan Na-P	91
Lampiran 9. Dokumentasi penelitian.....	94

ABSTRAK

TRANSFORMASI ABU DASAR BATUBARA DENGAN VARIASI WAKTU KAL SINASI PADA SUHU 800 °C MENJADI ZEOLIT SINTESIS DAN APLIKASINYA UNTUK MENGADSORPSI LOGAM Cr(III)

Willy Andriansyah
10630006

Penelitian ini mengkaji tentang limbah abu dasar batubara yang ditransformasi menjadi material zeolit sintesis yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam berat Cr(III). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik zeolit sintesis, model adsorpsi, serta hasil konstanta laju dan kapasitas adsorpsi.

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi, preparasi abu dasar (kalsinasi abu dasar dengan variasi waktu 2, 4, dan 6 jam pada suhu 800 °C). Tahap berikutnya yaitu sintesis zeolit dengan metode peleburan-hidrotermal dan dilakukan karakterisasi terhadap zeolit hasil sintesis, serta dilakukan uji adsorpsi dengan adsorben abu dasar dan zeolit hasil sintesis terhadap logam Cr(III).

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini, pada variasi waktu kalsinasi 4 jam dengan peleburan menggunakan NaOH selama 1 jam pada suhu 750 °C dan proses hidrotermal selama 24 jam pada suhu 100 °C diperoleh intensitas zeolit maksimal. Zeolit yang dihasilkan berupa kuarsa, sodalit, zeolit Na-Y dan Na-P. Uji adsorpsi terhadap logam Cr(III) dengan konsentrasi awal 100 mg/L, massa adsorben 0,08 gram dan waktu kontak 60 menit menunjukkan pH 4 sebagai pH optimum. Kinetika adsorpsi Cr(III) untuk kedua adsorben mengikuti model pseudo-orde dua dengan konstanta laju adsorpsi sebesar -0,031 g/mg.menit untuk abu dasar dan 0,018 g/mg.menit untuk zeolit sintesis, sedangkan adsorpsi isoterm mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir, dimana adsorben zeolit sintesis memiliki kapasitas adsorpsi lebih besar dibandingkan dengan abu dasar yaitu sebesar 31,25 mg/g, sedangkan abu dasar memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 12,05 mg/g.

Kata Kunci: *abu dasar batubara, zeolit sintesis, adsorpsi Cr(III), kinetika adsorpsi, isoterm adsorpsi*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan industri tidak hanya menimbulkan dampak positif, tetapi juga dapat menimbulkan dampak negatif. Dampak negatif berupa pencemaran lingkungan di sekitar industri akibat limbah dari kegiatan industri tersebut yang tidak ditangani dengan baik, sebagai contoh adalah penggunaan bahan bakar batubara pada proses produksi di Pabrik Spiritus Madukismo Yogyakarta. Pembakaran batubara menghasilkan residu berupa gas dan padatan. Residu pembakaran batubara yang berupa padatan yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*), limbah yang dihasilkan dari residu padatan tersebut sekitar 80-90% adalah abu layang dan 10-20% adalah abu dasar (Perera dan Trautman, 2006).

Limbah abu layang dan abu dasar telah banyak dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat. Kula (2001) melaporkan bahwa abu dasar memiliki kandungan silika dan alumina berturut-turut sebesar 50,98% dan 14,99%, sedangkan pada abu layang sebesar 56,13% dan 18,49%. Silika dan alumina pada abu batubara tersebut ditemukan dalam fasa amorf maupun fasa kristalin. Unsur-unsur kimia tersebut merupakan komponen penyusun zeolit sehingga dengan proses tertentu abu batubara, baik abu layang maupun abu dasar dapat diubah menjadi zeolit atau bahan *mesoporous aluminosilikat* lainnya (Tanaka, 2002).

Abu layang telah banyak dimanfaatkan dalam sintesis zeolit, sementara penggunaan abu dasar sebagai zeolit masih sedikit karena abu dasar memiliki

kandungan aluminat dan silikat dengan persentase yang lebih rendah dibandingkan abu layang. Selain itu, abu dasar juga memiliki kadar karbon yang cukup tinggi, meskipun demikian abu dasar dapat diubah menjadi zeolit karena memiliki mineral-mineral alumina dan silika yang merupakan penyusun utama kerangka zeolit.

Penelitian untuk mengubah limbah abu sisa pembakaran batubara menjadi zeolit telah banyak dilakukan, khususnya limbah abu dasar batubara. Sunarti (2008) telah melakukan penelitian pembuatan adsorben dari abu dasar batubara dengan mengubah abu dasar menjadi zeolit sintesis, menggunakan kombinasi metode peleburan dengan NaOH dan perlakuan hidrotermal. Sementara itu, Wahyuni (2010) telah memanfaatkan abu dasar dengan mentransformasi abu dasar menjadi zeolit A menggunakan metode peleburan alkali diikuti proses hidrotermal. Londar dkk. (2009) mentransformasi abu dasar menjadi zeolit berkarbon dan zeolit tanpa karbon menggunakan metode hidrotermal langsung pada suhu 100 °C dengan waktu kristalisasi 24 jam.

Logam berat adalah jenis polutan yang paling banyak ditemukan pada berbagai perairan limbah industri. Ion-ion logam berat seperti ion-ion kromium (III) atau kromium (VI) merupakan bahan pencemar yang sering menjadi perhatian. Hal ini disebabkan ion-ion tersebut bersifat toksik meskipun pada konsentrasi yang rendah dalam kadar ppm dan umumnya sebagai polutan utama bagi lingkungan.

Kromium (III) dapat menyebabkan kanker paru-paru, kerusakan hati dan ginjal serta dapat menyebabkan iritasi pada kulit dan mempunyai sifat mudah

terakumulasi, yaitu apabila ion-ion ini ada dalam tubuh makhluk hidup akan mengalami penumpukan dan pada konsentrasi tertentu dapat menimbulkan keracunan. Kepmenkes Republik Indonesia (2002) telah menetapkan nilai ambang batas ion Cr(III) dalam air adalah 0,05 ppm. Dengan demikian, keberadaan ion Cr(III) dalam air harus diupayakan agar tidak melebihi nilai ambang batas yang diperbolehkan.

Banyak metode yang telah dikembangkan untuk menangani masalah limbah di perairan, misalnya metode presipitasi, ekstraksi, separasi dengan membran (Jain dkk., 2005), pertukaran ion (Sivaiah dkk., 2004), dan adsorpsi. Metode presipitasi adalah metode yang paling ekonomis tetapi tidak efisien untuk larutan encer. Metode pertukaran ion atau osmosis balik pada umumnya efektif, tetapi memerlukan peralatan dan biaya operasional yang relatif tinggi.

Metode adsorpsi adalah metode alternatif yang potensial karena prosesnya yang relatif sederhana, dapat bekerja pada konsentrasi rendah, dapat didaur ulang dan biaya yang dibutuhkan relatif murah. Metode adsorpsi telah terbukti efektif untuk mengurangi konsentrasi logam di perairan, seperti yang dilakukan oleh Barros dkk. (2003) menggunakan adsorben berupa zeolit untuk mengadsorpsi ion logam.

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini sintesis zeolit dari abu dasar batubara dilakukan dengan menggunakan metode peleburan-hidrotermal. Abu dasar memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi dan hal tersebut dapat mempengaruhi proses pembentukan kristal zeolit (Londar dkk., 2009), maka pada penelitian ini dilakukan preparasi kalsinasi abu dasar batubara pada suhu 800 °C

dengan variasi waktu 2, 4, dan 6 jam. Perlakuan tersebut dimaksudkan untuk mengetahui persen berat optimum kandungan karbon dalam abu dasar yang hilang. Zeolit sintesis yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam Cr(III).

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. Jenis karakterisasi yang digunakan adalah karakterisasi kandungan senyawa dalam abu dasar batubara menggunakan XRF, gugus fungsional menggunakan spektrofotometer FT-IR, uji kristalinitas menggunakan difraktometer sinar-X, sedangkan uji adsorpsi logam Cr(III) menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS).

C. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh waktu kalsinasi pada proses sintesis zeolit dari abu dasar batubara?
2. Apakah zeolit dapat disintesis dari abu dasar batubara?
3. Bagaimana kondisi optimum pH, waktu kontak, dan pengaruh konsentrasi pada proses adsorpsi logam Cr(III) menggunakan abu dasar dan zeolit hasil sintesis sebagai adsorben?

4. Bagaimana model adsorpsi, serta hasil konstanta laju adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dari adsorben terhadap logam Cr(III)?

D. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh waktu kalsinasi pada proses sintesis zeolit dari abu dasar batubara.
2. Mensintesis dan mengkarakterisasi zeolit dari abu dasar batubara.
3. Mengetahui kondisi optimum pH, waktu kontak, dan pengaruh konsentrasi pada proses adsorpsi logam Cr(III) menggunakan abu dasar dan zeolit hasil sintesis sebagai adsorben.
4. Mengetahui model adsorpsi, serta hasil konstanta laju adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dari adsorben terhadap logam Cr(III).

E. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh waktu kalsinasi abu dasar batubara pada proses sintesis zeolit.
2. Memberikan informasi mengenai sintesis zeolit dari abu dasar batubara dengan metode peleburan-hidrotermal.
3. Memberikan informasi tentang zeolit hasil sintesis yang diharapkan dapat diaplikasikan dalam adsorpsi limbah logam Cr(III) dan membandingkannya dengan abu dasar batubara.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai transformasi abu dasar batubara menjadi zeolit dan aplikasinya untuk mengadsorpsi logam berat Cr(III), dapat disimpulkan:

1. Intensitas zeolit hasil sintesis dari abu dasar batubara Pabrik Spiritus Madukismo lebih maksimal pada waktu kalsinasi 4 jam dibanding waktu 2 dan 6 jam.
2. Abu dasar dapat ditransformasi menjadi zeolit menggunakan metode peleburan-hidrotermal dengan proses peleburan menggunakan NaOH selama 1 jam pada suhu 750 °C dan proses hidrotermal selama 24 jam pada suhu 100 °C. Karakterisasi menggunakan FT-IR dan XRD terhadap zeolit hasil sintesis menunjukkan hasil yang diperoleh berupa campuran kuarsa, sodalit, zeolit Na-Y, dan zeolit Na-P.
3. Proses adsorpsi Cr(III) menggunakan abu dasar maupun zeolit sintesis menunjukkan bahwa kedua adsorben tersebut efektif mengadsorp larutan Cr(III) pada pH 4, waktu kontak 60 menit untuk abu dasar dan 75 menit untuk zeolit sintesis. Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi logam Cr(III) menunjukkan hasil bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan Cr(III), maka semakin besar ion logam Cr(III) yang teradsorp.
4. Kinetika adsorpsi dari adsorben terhadap logam Cr(III) mengikuti model pseudo-orde dua dengan konstanta laju adsorpsi sebesar -0,031 g/mg.menit

untuk abu dasar dan 0,018 g/mg.menit untuk zeolit sintesis. Isoterm adsorpsinya mengikuti isoterm *Langmuir* dengan kapasitas adsorpsi zeolit sintesis lebih besar dibandingkan dengan abu dasar yaitu sebesar 31,25 mg/g. Abu dasar memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 12,05 mg/g.

B. Saran

Efektivitas transformasi abu dasar menjadi zeolit sintesis perlu dipelajari dengan menambahkan variasi suhu kalsinasi. Pada uji adsorpsi, variasi dapat dilakukan pada massa adsorben, suhu adsorbat, dan kecepatan pengadukan, supaya didapatkan adsorpsi optimum terhadap logam Cr(III).

DAFTAR PUSTAKA

- Arthur, W. C., dan Derouane, E. G., 2009. *Zeolite Characterization and Catalysis*. Germany: Springer Dordrecht Heidelberg.
- Allison, A. Lewinsky., 2007. *Hazardous Materials and Wasterwater: Treatment, Removal, and Anaysis*. New York: Nova Science Publishers Inc.
- Adamson, A. W., 1990. *Physical Chemistry of Surface*. 5th ed. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Adhita, G. Y., 2008. Studi Adsorpsi Ion Logam Ni(II) oleh Abu Dasar (*Bottom Ash*) Batubara. Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Astuti, W. J., dan Lestari, W. T. P., 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrotermal. *Reaktor*, 11 (1), 38-44.
- Atkins, P. W., 1990. *Kimia Fisika*. Edisi ke-4. Jakarta: Erlangga.
- Balkus, K. J. J., dan Kieu, T. L., 1991. The Preparation and Characterization of an X-Tipe Zeolit. *J.Chem.Edu*, 68 (10), 857-877.
- Ball, J. W., dan Nordstrom, D. K., 1998. Critical Evaluation and Selection of Standard State Thermodynamic Properties for Chromium Metal and Its Aqueous Ions, Hydrolysis Species, Oxides, and Hydroxides. *J.Chem. Eng*, 43, 895-918.
- Barros, M. A. S. D., Zola, A. S., Arroyo, P. A., Sousa-Angular, E. F., dan Tavares, C. R. G., 2003. Binary Ion Exchange of Metal Ions in Y dan X Zeolites. *J. Chem. Eng*, 20 (4), 339-344.
- Breck, D. W., 1974. *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Castellan, G. W., 1982. *Physical Chemistry*. 2nd ed. New York: McGraw Hill.
- Cejka, J., Corma, A., dan Zones, S., 2010. *Zeolite and Catalysis Synthesis, Reactions, and Applications*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Clifton, R. A., 1987. *Natural and Synthetic Zeolites*. New York: United States Department of The Interior.
- Elliot, H. A., Liberati, M. R., dan Huang, C. P., 1986. Competitive Adsorption of Heavy Metals by Soils. *Jurnal of Environmental Quality*, 15 (3), 214-219.

- Flanigen, E. M., Khatami, H., dan Szymanski., 1971. Infrared Structural Studies of Zeolite Framework Molecular Sieve Zeolite. *Advanced in Chemistry*, 101 (16), 201-229.
- Filho, N. L. D., Gushikem, Y., dan Polito, W. L., 1995. MBT-Clay as Matrix for Sorption and Preconcentration of Some Heavy Metals from Aquaeous Solution. *Analytica Chimica Acta*, 306, 167-172.
- Fukushima, M., Nakayasu, K., Tanaka, S., dan Nakamura, H., 1995. Chromium (III) Binding Abilities of Hunic Acids. *Anal. Chim. Acta*, 317 (1-3), 195-206.
- Gates, B. C., 1992. *Catalytic Chemistry*. New york: John Wiley & Sons. Inc.
- Gonghu, Li., 2005. FT-IR Studies of Zeolite Materials: Characterization and Enviromental Applications. Thesis. University of Iowa, U.S.
- Greenberg, A. E., Lenore, S. C., dan Andrew, D. E., 1992. *Metals by Atomic Absorption Spectrometry in Standard Methods for Examination of Water and Waste Water*. 18th ed. Washington: American Public Health Association.
- Hamdan, H., 1992. *Introduction to Zeolite: Synthesis, Characterisazation, and Modification*. Penang: University Teknology Malaysia.
- Han, Gi-Chun., Um, Nam-Il., You, Kwang-Suk., dan Ahn, Ji-Whan., 2009. Immobilization of Pb, Cd, and Cr by Synthetic NaP1 Zeolites from Coal Bottom Ash Treat by Density Separation. *Resources Processing*, 55, 130-137.
- Handayani, M., dan Sulistiyono, E., 2009. Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir-BATAN*, Bandung, 3 Juni 2009.
- Handayani, N., dan Widiastuti, N., 2010. Adsorpsi Ammonium (NH_4^+) Pada Zeolit Berkarbon dan Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batubara PT. IPMOMI PAITON dengan Metode Batch. *Prosiding Tugas Akhir Semester Ganjil 2009/2010*, Jurusan Kimia FMIPA-ITS, Surabaya.
- Hay, R. L., 1966. *Zeolites and Zeolitic Reactions in Sedimentary Rock*. California: Department Geology and Geophysic.

- Heiri, Oliver., Lotter, F, Andre., dan Lemcke, Gerry., 2001. Loss On Ignition as a Method for Estimating Organic and Carbonate Content in Sediments: Reproducibility and Comparability of Results. *Journal of Paleolimnology*, 25, 101-110.
- Herry, P., 1993. Abu Terbang dan Pemanfaatannya. *Makalah Seminar Nasional Batubara Indonesia-UGM*, 7-8 September 1993, Yogyakarta.
- Ho, Y. S., dan McKay, G., 1998. Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes. *Process Biochemistry Elsevier*, 34, 451–465.
- Ho, Y. S., McKay, G., Wase, D. A. J., dan Foster, CF., 2000. Study of the Sorption of Divalent Metal Ions Onto Peat. *Adsorp. Sci. Technol*, 18 (7), 639-650.
- Hui, H. S., Chao, C. Y. H., dan Kot, S. C., 2005. Removal of Mixed Heavy Metal Ions in Wastewater by Zeolit 4A and Residual Product from Recycled Coal Fly Ash. *Journal of Hazardous Materials*, 127 (1-3), 89-101.
- Ismagilov, Z. R., 2012. Synthesis of Nanoscale TiO₂ and Study of The Effect of Their Crystal Structure on Single Cell Response. *The Scientific World Journal*, 498345-498359.
- Iqra, J., Faryal, M., Uzaira, R., dan Noshaba, T., 2014. Preparation of Zeolit from Incenator Ash and Its Application for The Remediation of Selected Inorganic Pollutants: a Greener Approach. *Material Science and Engineering*, 60, 1-11.
- Jain, V. K., Pillai, S. G., Pandya, R. A., Agrawal, Y. K., dan Shrivastav, P.S., 2005. Selective Extraction, Preconcentration, and Transport Studies of Thorium (IV) Using Octa-Functionalized Calix [4] resorcinarene-Hydroxamic Acid. *Anal. Sci*, 21, 129-135.
- James, S. R., 1988. *Introduction to The Principles of Ceramics Processing*. Singapore: John Wiley & Sons. Inc.
- Jamaludin, A., dan Adiantoro, D., 2012. Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence. *Prosiding Seminar Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN*, April-Oktober 2012, Yogyakarta.
- Jeffery, H., G., 1989. *VOGEL's: Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. 5th ed. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Jumaeri, W. A., dan Lestari, W. T. P., 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrotermal. *Reaktor*, 1 (11), 38-44.

- Keka, O., Narayan, C. P., dan Amar, N. S., 2004. Zeolite from Fly Ash: Synthesis and Characterization. *Bull. Mater. Sci.*, 27 (6), 555–564.
- Karge, H. G., dan Weitkamp, J., 2007. *Molecular Sieves Science and Technology: Characterization II*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Khopkar, S. M., 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Kikuchi, S., Kawauchi, K., Kurosawa, M., Honjo, H., dan Yagishita, T., 2005. Non-Destructive Rapid Analysis Discriminating Between Chromium (VI) and Chromium (III) Oxides in Electrical and Electronic Equipment Using Raman Spectroscopy. *Analytical Sciences*, 21, 197-198.
- Kula, A., dan Olgun., 2001. Effects of Colimanite Waste, Coal Bottom Ash, and Fly Ash on The Properties of Cement. *Journal Cement and Concrete Research*, 31 (3), 491-494.
- Kumral, Elif., 2007. Speciation of Chromium in Waters Via Sol-Gel Preconcentration Prior to Atomic Spectrometric Determination. Thesis. Department of Chemistry Izmir Institute of Technology, Turkey.
- Laksono, E. W., Ikhsan, J., dan Prodjosantoso., 2009. Kajian Penggunaan Adsorben Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Zat Pewarna Tekstil. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 17 Oktober 2009, Yogyakarta.
- Langford, J.I., Louer, D. 1996. Powder Diffraction. *Rep. Prog. Phys.*, 59, 135-139.
- Li, Z., Sun, X., Lou, J., dan Hwang, J. Y., 2002. Unburned Carbon from Fly Ash for Mercury Adsorption: Adsorption Isotherms and Mechanisms. *J. Min. Mat. Char. & Eng.*, 1 (2), 79-96.
- Londar, E., Fansuri, H., dan Widiastuti, N., 2009. Pengaruh Karbon Terhadap Pembentukan Zeolit Dari Abu Dasar Dengan Metode Hidrotermal Langsung. *Senaki IV*, Jurusan Kimia FMIPA ITS, Surabaya.
- Miller, D. D., dan Rutzke, M. A., 2003. *Atomic Absorption and Emission Spectroscopy in Food Analysis*. 3rd ed. New York: Purdue West Lafayette.
- Minear, A. R., dan Keith, H. L., 1982. *Water Analysis: Inorganic Species*. Part 1. California: Academic Press of California.
- Mohan, S., dan Gandhimathi, R., 2009. Removal of Heavy Metal Ions from Municipal Solid Waste Leachate Using Coal Fly Ash as an Adsorbent. *Journal Hazard Mater.*, 169, 351-359.

- Monsalve, A. G., 2004. *Active Acid Sites in Zeolite Catalyzed Iso-butane/cis-2-Butene Alkylation*. Germany: Institut für Technische Chemie der Technischen München Lehrstuhl II.
- Murphy, W. D., dan Interrante V. L., 1995. *Inorganic Synthesis*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Murniati., 2009. Pembuatan Zeolit dari Abu Dasar Batubara dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Cu(II). Thesis. Program Pascasarjana FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Oscik, J., 1982. *Adsorption*. England: Ellis Harwood Limited.
- Oxtoby, Gills., dan Nachtrieb., 2003. *Prinsip-Prinsip Kimia Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Pearson, R. G., 1963. Hard and Soft Acids and Bases. *J. Am. Soc*, 85, 3533-3539.
- Pena, R., Guerro, A., dan Goni, S., 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.
- Penilla, R. P., Bustos, G. A., dan Elizalde, S. G., 2004. Zeolite Synthesized by Alkaline Hydrothermal Treatment of Bottom Ash from Combustion of Municipal Solid Waste. *J. American Ceramic Society*, 86, 1527-1533.
- Perera, S. D. dan Trautman, L. R., 2006. Geopolymers With The Potential for Use as Refractory Castables. *Azojomo*, 2, 132-140.
- Prasetyani, D. H., 1994. Sintesis Zeolit X dari Abu Sekam Padi. Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Rabo, J. A., 1976. *Zeolite Chemistry and Catalysis*. Washington: American Chemical Society.
- Richard, F. C., dan Bourg, A. C. M., 1991. Aqueous Geochemistry of Chromium: a Review. *Water Res*, 25 (7), 807-816.
- Ruthven, M. D., 1984. *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Saito, Taro., 1996. *Kimia Anorganik*. Tokyo: Iwanami Publishing Company.
- Schubert, U., dan Husing, N., 2000. *Synthesis of Inorganic Materials*. Federal Republic of Germany: Wiley-Vch.

- Sediawan, W. B., dan Prasetya, A., 1997. *Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia dengan Pemrograman Bahasa Basic dan Fortran*. Yogyakarta: Andi.
- Septiana, Anies., 2013. Studi Adsorpsi Ion Logam Pb(II), Cu(II), dan Cr(III) Menggunakan Abu Dasar Batubara. Thesis. Program Pascasarjana FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Sivaiah, M. V., Venkatesan, K. A., Sasidhar, P., Krishna, R. M., dan Murthy, G. S., 2004. Ion Exchange Studies of Cerium (III) on Uranium Antimonate. *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, 5 (1), 7-10.
- Shigemoto, N., dan Hayashi, H., 1993. Selective Formation of Na-X Zeolite from Coal Fly Ash by Fusion With Sodium Hidroxidde Prior to Hydrothermal Reaction. *Journal of Material Science*, 28 (17), 4781-4786.
- Shigemoto, N., Sugiyama, S., Hayashi, H., dan Miyaura, K., 1995. Characterization of Na-X, Na-A, and coal Fly Ash Zeolit and Their Amorphous Precursor by IR, MASS NMR, and XPS. *Journal of Material Science*, 30 (17), 5777-5782.
- Smart, E. L., dan Moore, A. E., 2005. *Solid State Chemistry*. 3th ed. France: Taylor & Francis Group. LLC.
- Sook, S. Y., 2003. The Adsorpstion Characteristics of Heavy Metal by Various Particle Sized of MSWI Bottom Ash. *J. Waste Management*, 11, 851-857.
- Srinivasan, A., dan Grutzeck, M. W., 1999. The Adsorption of SO₂ by Zeolites Synthesized from Fly Ash. *Environ. Sci. Technol.*, 33, 1464-1469.
- Stuart, B., 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Stumm, W., dan Morgan, J. J., 1981. *Aquatic Chemistry Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Sugiyarto, H. K., dan Suyanti, D. R., 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sukardjo., 1990. *Kimia Anorganik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sunardi., Rohman T., Mikrianto, E., dan Rusmayanti., 2007. Pengaruh Waktu Refluks dengan NaOH Terhadap Konversi Abu Layang Batubara Menjadi Zeolit. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 1 (2), 83-92.

- Sunarti., 2008. Pembuatan Adsorben Termodifikasi dari Abu Dasar Batubara dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Logam Berat Timbal (Pb). Thesis. Program Pascasarjana FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Sutarno, Arryanto.Y., dan Budyantoro, A., 2009. Kajian Pengaruh Rasio Berat NaOH/Abu Layang Batubara Terhadap Kristallinitas dalam Sintesis Faujasit. *Jurnal ILMU DASAR*, 10 (1), 1-5.
- Tanaka, H., 2002. Formation of Na-A and Na-X Zeolites from Waste Solutions in Conversion of Coal Fly Ash to Zeolites. *Materials Research Buletin*, 37 (11), 1873-1884.
- Wahyuni, S., dan Widiastuti, N., 2010. Adsorpsi Ion Logam Zn(II) pada Zeolit A dari Abu Dasar Batubara PT IPMOMI PAITON dengan Metode *Batch*. *Prosiding Seminar KIMIA FMIPA-ITS*, Surabaya.
- Warren, E., 1969. *X-Ray Diffraction*. Adddition-Wesley. U.S.
- Welty, R. J., Wicks, E. C., Wilson, E. R., dan Rorrer, G., 2001. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- West, A. R., 1984. *Solid State Chemistry and Its Applications*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Whan, Ji. AHN., Chun, Gi. HAN., Suk, Kwang., dan Chan, Hee. CHO., 2006. Zeolite Synthesis from Coal Bottom Ash for Recycling as and Absorbent of Heavy Metal. *Material Science Forum*, 510, 626-629.
- William, J. D., dan Randy, S., 1997. *Groundwater Geochemistry: Fundamentals and Applications to Contamination*. Florida: CRC Press Boca Raton.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan kadar karbon dalam abu dasar batubara

Tabel 1.1 Karbon yang hilang dalam abu dasar batubara setelah dikalsinasi

Waktu kalsinasi (jam)	DW ₁ (gram)	DW ₈₀₀ (gram)	LOI (%)
2	30	26,209	12,64
4	30,044	27,162	9,59
6	30,107	27,837	7,54

Keterangan: DW₁ = berat abu dasar sebelum dikalsinasi

DW₈₀₀ = berat abu dasar setelah dikalsinasi pada suhu 800 °C

a). Kalsinasi 2 jam

$$\begin{aligned}
 \text{LOI} &= \frac{DW_1 - DW_{800}}{DW_1} \times 100\% \\
 &= \frac{30 \text{ gram} - 26,209 \text{ gram}}{30 \text{ gram}} \times 100\% \\
 &= 12,64\%
 \end{aligned}$$

b). Kalsinasi 4 jam

$$\begin{aligned}
 \text{LOI} &= \frac{DW_1 - DW_{800}}{DW_1} \times 100\% \\
 &= \frac{30,044 \text{ gram} - 27,162 \text{ gram}}{30,044 \text{ gram}} \times 100\% \\
 &= 9,59\%
 \end{aligned}$$

c). Kalsinasi 6 jam

$$\begin{aligned}
 \text{LOI} &= \frac{DW_1 - DW_{800}}{DW_1} \times 100\% \\
 &= \frac{30,107 \text{ gram} - 27,837 \text{ gram}}{30,107 \text{ gram}} \times 100\% \\
 &= 7,54\%
 \end{aligned}$$

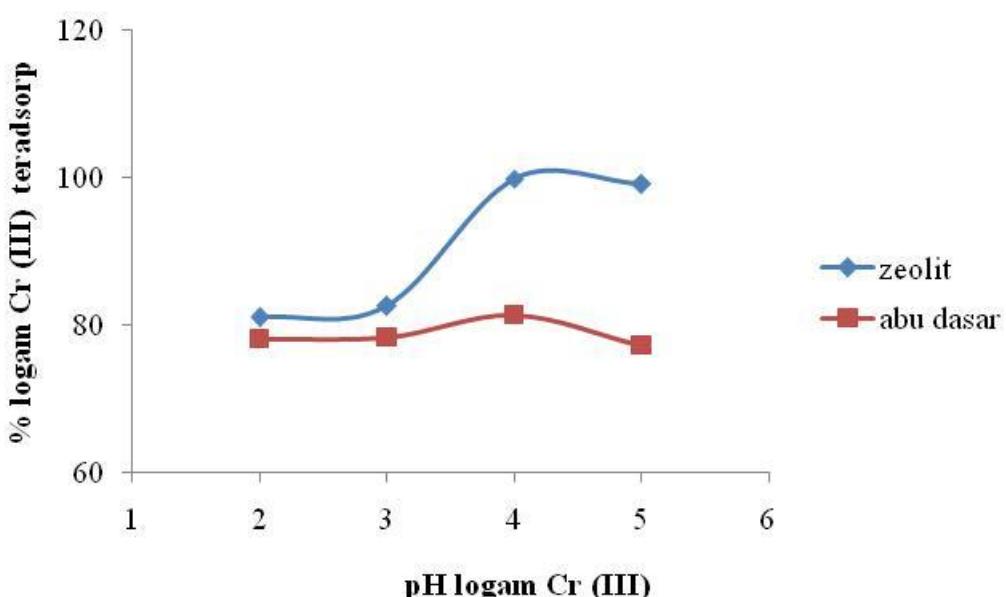
Lampiran 2. Perhitungan variasi pH

Tabel 2.1 Hasil adsorpsi zeolit sintesis terhadap logam Cr(III)

pH	Konsentrasi awal (mg/L)	Konsentrasi sisa (mg/L)	% Konsentrasi teradsorp	Massa zeolit (gram)	Volume larutan (mL)
2	100	19,002	80,998	0,08	20
3	100	17,528	82,472	0,08	20
4	100	0,245	99,755	0,08	20
5	100	1,048	98,952	0,08	20

Tabel 2.2 Hasil adsorpsi abu dasar terhadap logam Cr(III)

pH	Konsentrasi awal (mg/L)	Konsentrasi sisa (mg/L)	% Konsentrasi teradsorp	Massa abu dasar (gram)	Volume larutan (mL)
2	100	21,985	78,015	0,08	20
3	100	21,769	78,231	0,08	20
4	100	18,698	81,302	0,08	20
5	100	22,820	77,18	0,08	20



Gambar 2.1 Grafik hubungan pH dengan % logam Cr(III) teradsorp

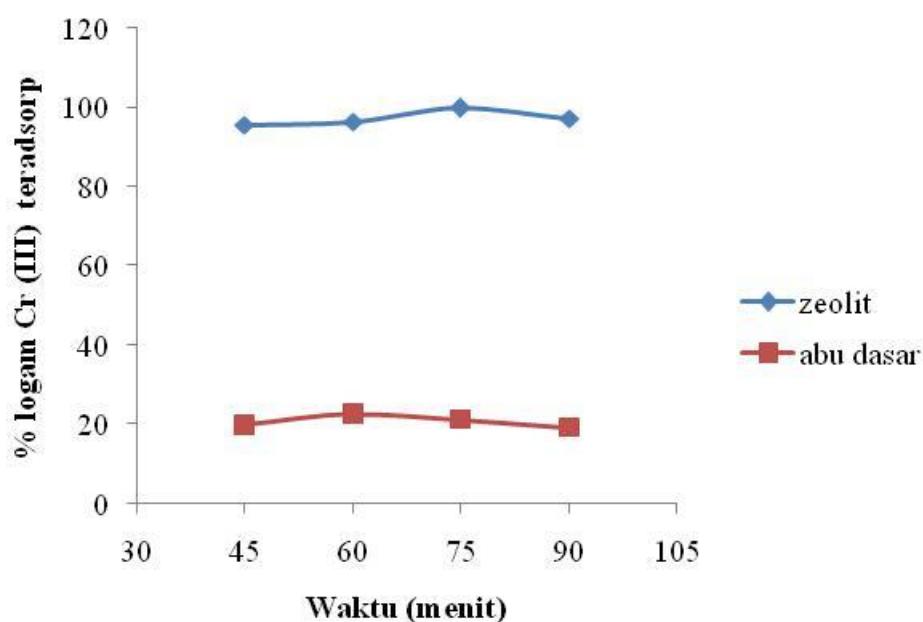
Lampiran 3. Perhitungan variasi waktu kontak

Tabel 3.1. Hasil adsorpsi zeolit sintesis terhadap logam Cr(III)

Waktu (menit)	Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi sisa (mg/L)	% Konsentrasi teradsorp	Massa zeolit (gram)	Volume larutan (mL)	pH optimum
45	100	4,424	95,576	0,08	20	4
60	100	3,602	96,398	0,08	20	4
75	100	0,073	99,927	0,08	20	4
90	100	2,704	97,296	0,08	20	4

Tabel 3.2. Hasil adsorpsi abu dasar terhadap logam Cr(III)

Waktu (menit)	Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi sisa (mg/L)	% Konsentrasi teradsorp	Massa zeolit (gram)	Volume larutan (mL)	pH optimum
45	100	80,048	19,952	0,08	20	4
60	100	77,339	22,661	0,08	20	4
75	100	78,694	21,306	0,08	20	4
90	100	80,726	19,274	0,08	20	4



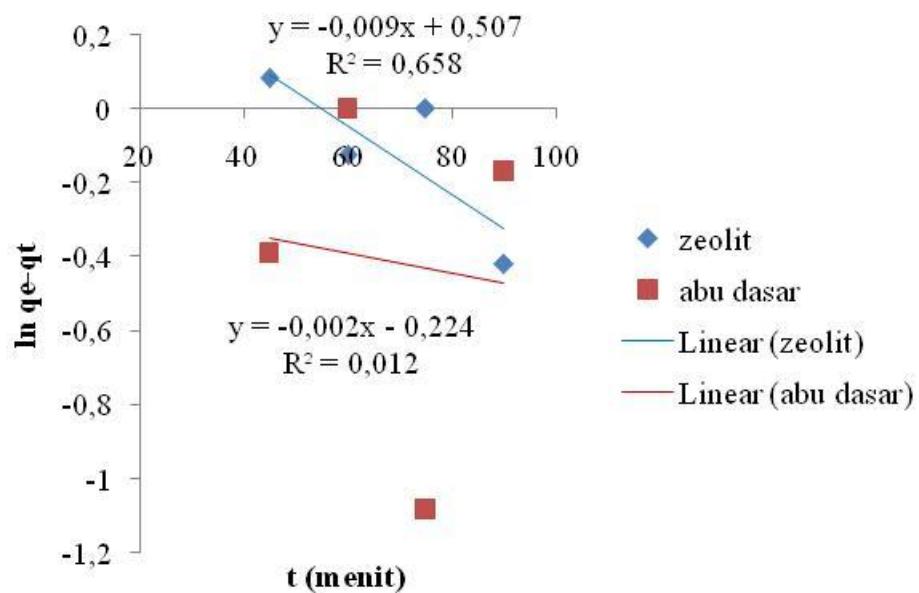
Gambar 3.1 Grafik hubungan waktu kontak dengan % logam Cr(III) teradsorp

Tabel 3.3 Penentuan kinetika adsorpsi zeolit sintesis

t (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	qt (mg/g)	qe-qt	ln (qe-qt)	t/qt
45	100	95,576	24,982	23,894	1,088	0,084	1,883
60	100	96,398	24,982	24,099	0,882	-0,125	2,489
75	100	99,927	24,982	24,982	0	0	3,002
90	100	97,296	24,982	24,324	0,658	-0,419	3,700

Tabel 3.4. Penentuan kinetika adsorpsi abu dasar

t (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	qt (mg/g)	qe-qt	ln (qe-qt)	t/qt
45	100	19,952	5,665	4,988	0,677	-0,389	9,022
60	100	22,661	5,665	5,665	0	0	10,591
75	100	21,306	5,665	5,326	0,339	-1,082	14,080
90	100	19,274	5,665	4,818	0,847	-0,166	18,678



Gambar 3.2 Grafik kinetika adsorpsi pseudo-orde satu

a. Kinetika adsorpsi pseudo-orde satu

1. Zeolit

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

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

Persamaan garis lurus , $y = -0,009x + 0,507$, maka:

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

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

$$-k_1 t = -0,009$$

$$k_1 = 0,009 \text{ menit}^{-1}.$$

$$\ln q_e = 0,507$$

$$q_e = 1,66 \text{ mg/g.}$$

2. Abu dasar

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

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

Persamaan garis lurus $y = -0,002x - 0,224$, maka:

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

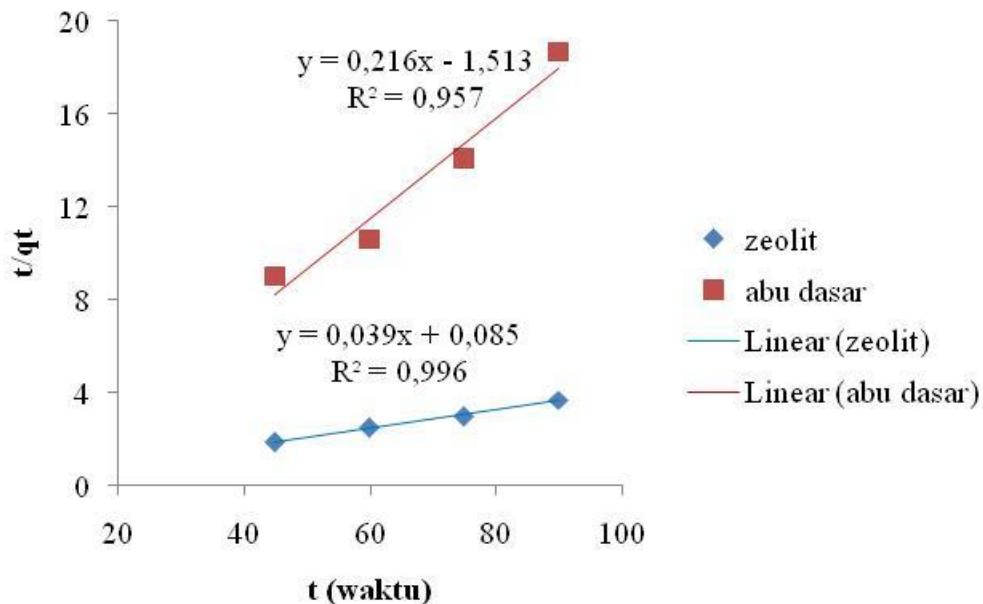
$$x = t \text{ (menit).}$$

$$-k_1 t = -0,002$$

$$k_1 = 0,002 \text{ menit}^{-1}.$$

$$\ln q_e = -0,224$$

$$q_e = -1,251 \text{ mg/g.}$$



Gambar 3.3 Grafik kinetika adsorpsi pseudo-orde dua

a. Kinetika adsorpsi pseudo-orde dua

1. Zeolit

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e} + \frac{1}{q_e} t$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{q_e} t + \frac{1}{k_2 q_e}$$

Persamaan garis lurus $y = 0,039x + 0,085$, maka:

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

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

$$\text{dimana, } y = \frac{t}{qt}$$

$$\frac{1}{q_e} = 0,039$$

$$q_e = 25,641 \text{ mg/g}$$

$$\text{dimana, } t = x$$

$$\frac{1}{k_2 qe} = 0,085$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{qe^2} = 0,085$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(25,641)^2} = 0,085$$

$$\frac{1}{657,461 (k_2)} = 0,085$$

$$k_2 = \frac{1}{55,884}$$

$$k_2 = 0,018 \text{ g/mg.menit}$$

2. Abu dasar

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

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

Persamaan garis lurus $y = 0,216x - 1,513$, maka:

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

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

$$\text{dimana, } y = \frac{t}{qt}$$

$$\frac{1}{qe} = 0,216$$

$$qe = 4,630 \text{ mg/g.}$$

$$\text{dimana, } t = x$$

$$\frac{1}{k_2 .qe^2} = -1,513$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{qe^2} = -1,513$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(4,630)^2} = -1,513$$

$$\frac{1}{(21,437)k_2} = -1,513$$

$$k_2 = -\frac{1}{32,434}$$

$$k_2 = -0,031 \text{ g/mg.menit}$$

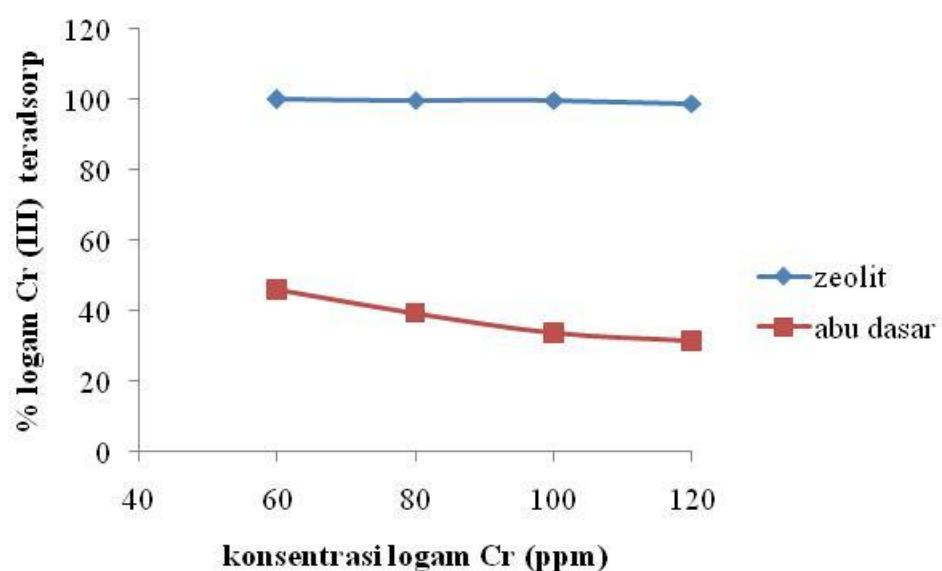
Lampiran 4. Perhitungan variasi konsentrasi

Tabel 4.1 Hasil adsorpsi zeolit sintesis terhadap logam Cr(III)

Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi sisa (mg/L)	% Konsentrasi teradsorp	Massa zeolit (gram)	Volume larutan (mL)	Waktu (menit)	pH optimum
60	0,028	99,953	0,08	20	75	4
80	0,128	99,84	0,08	20	75	4
100	0,162	99,838	0,08	20	75	4
120	1,241	98,966	0,08	20	75	4

Tabel 4.2 Hasil adsorpsi abu dasar terhadap logam Cr(III)

Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi sisa (mg/L)	% Konsentrasi teradsorp	Massa zeolit (gram)	Volume larutan (mL)	Waktu (menit)	pH optimum
60	32,463	45,895	0,08	20	60	4
80	48,555	39,306	0,08	20	60	4
100	66,425	33,575	0,08	20	60	4
120	82,421	31,316	0,08	20	60	4



Gambar 4.1 Grafik hubungan konsentrasi dengan % logam Cr (III) teradsorp

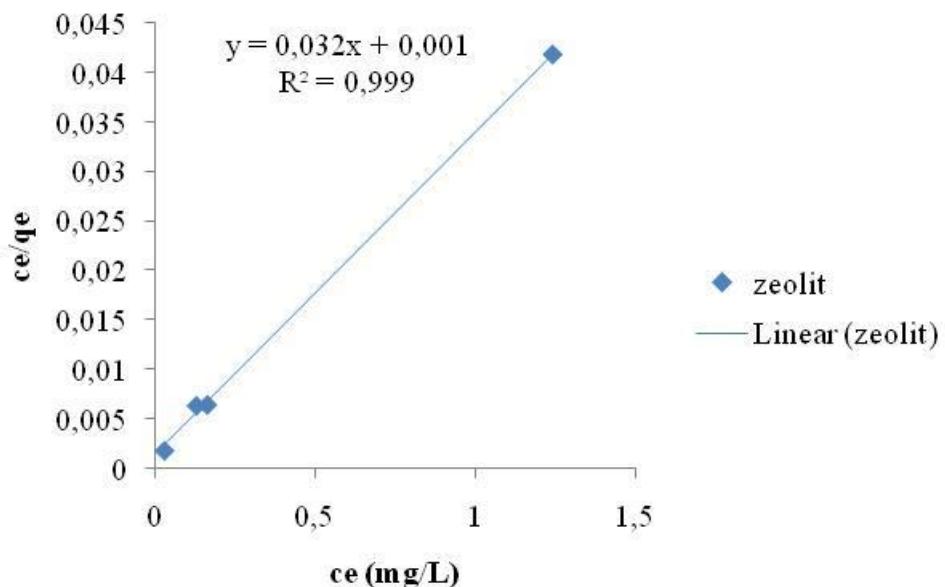
Tabel 4.3 Penentuan isoterm adsorpsi zeolit sintesis

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	Ce/qe (g/L)	log ce	log qe
60	0,028	14,993	0,002	-1,553	1,176
80	0,128	19,968	0,006	-0,893	1,300
100	0,162	24,959	0,006	-0,790	1,397
120	1,241	29,690	0,042	0,094	1,472

Tabel 4.4 Penentuan isoterm adsorpsi abu dasar

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	Ce/qe (g/L)	log ce	log qe
60	32,463	6,884	4,715	1,511	0,838
80	48,555	7,861	6,176	1,686	0,895
100	66,425	8,394	7,914	1,822	0,924
120	82,421	9,395	8,773	1,916	0,973

1. Isoterm adsorpsi zeolit sintesis



Gambar 4.2 Grafik isoterm adsorpsi Langmuir zeolit sintesis

Persamaan Langmuir:

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{Q_o} Ce + \frac{1}{Q_o b}$$

Persamaan garis lurus : $y = 0,032x + 0,001$

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

$$Slope = \frac{1}{Q_o} = 0,032 \text{ g/mg}$$

$$Q_o = 31,25 \text{ mg/g}$$

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

$$Intercept = \frac{1}{Q_o b} = 0,001 \text{ g/L}$$

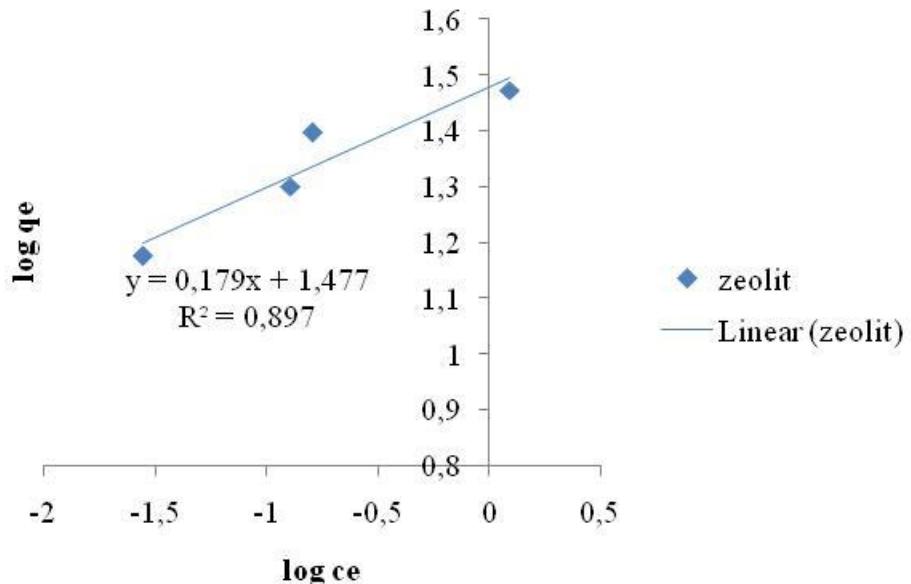
$$\frac{1}{b} = \frac{0,001 \text{ g/L}}{1/Q_o}$$

$$\frac{1}{b} = \frac{0,001 \text{ g/L}}{0,032 \text{ g/mg}}$$

$$0,001 \text{ g/L} \times b = 0,032 \text{ g/mg}$$

$$b = \frac{0,032 \text{ g/mg}}{0,001 \text{ g/L}}$$

$$b = 32 \text{ mg/L}$$



Gambar 4.3 Grafik isoterm adsorpsi Freundlich zeolit sintesis

Persamaan Freundlich:

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

Persamaan garis lurus : $y = 0,179x + 1,477$

$$Slope = \frac{1}{n} = 0,179$$

$$n = 5,586$$

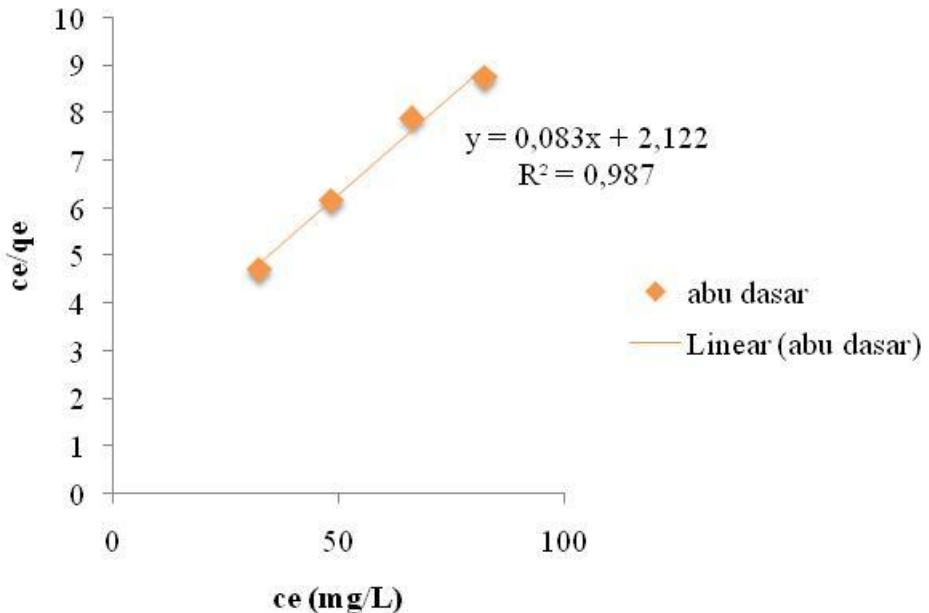
$$Intercept = q_e = mg/g$$

$$\log K_F = 1,477$$

$$K_F = 10^{1,477}$$

$$K_F = 29,992$$

2. Isoterm adsorpsi abu dasar



Gambar 4.4 Grafik isoterm adsorpsi Langmuir abu dasar

Persamaan Langmuir:

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{Q_0} Ce + \frac{1}{Q_0 b}$$

Persamaan garis lurus : $y = 0,083x + 2,122$

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

$$Slope = \frac{1}{Q_0} = 0,083 \text{ g/mg}$$

$$Q_0 = 12,05 \text{ mg/g}$$

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

$$Intercept = \frac{1}{Q_0 b} = 2,122 \text{ g/L}$$

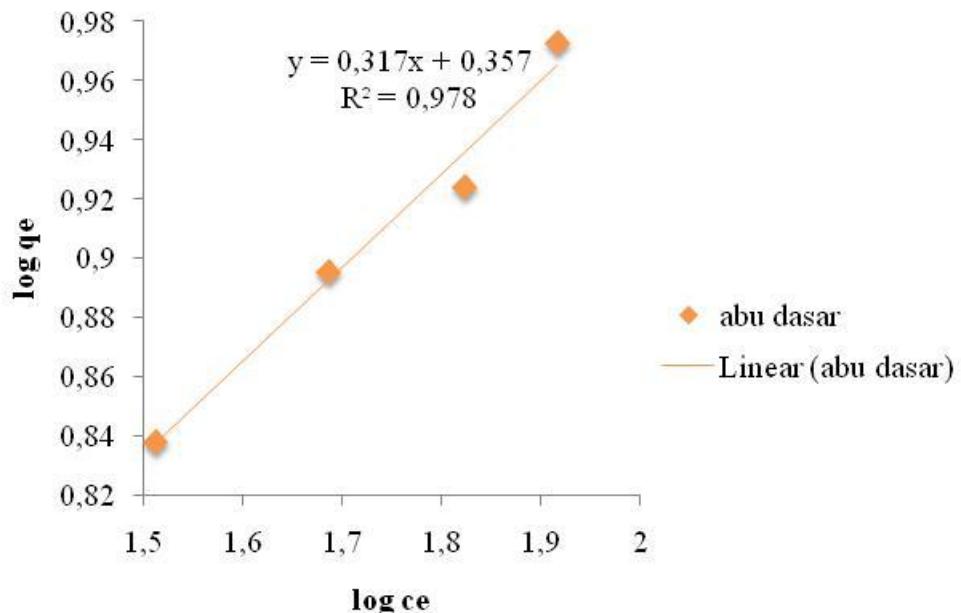
$$\frac{1}{b} = \frac{2,122 \text{ g/L}}{1/Q_0}$$

$$\frac{1}{b} = \frac{2,122 \text{ g/L}}{0,083 \text{ g/mg}}$$

$$2,122 \text{ g/L} \times b = 0,083 \text{ g/mg}$$

$$b = \frac{0,083 \text{ g/mg}}{2,122 \text{ g/L}}$$

$$b = 0,039 \text{ mg/L}$$



Gambar 4.5 Grafik isoterm adsorpsi Freundlich abu dasar

Persamaan Freundlich:

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

Persamaan garis lurus : $y = 0,317x + 0,357$

$$Slope = \frac{1}{n} = 0,317$$

$$n = 3,154$$

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

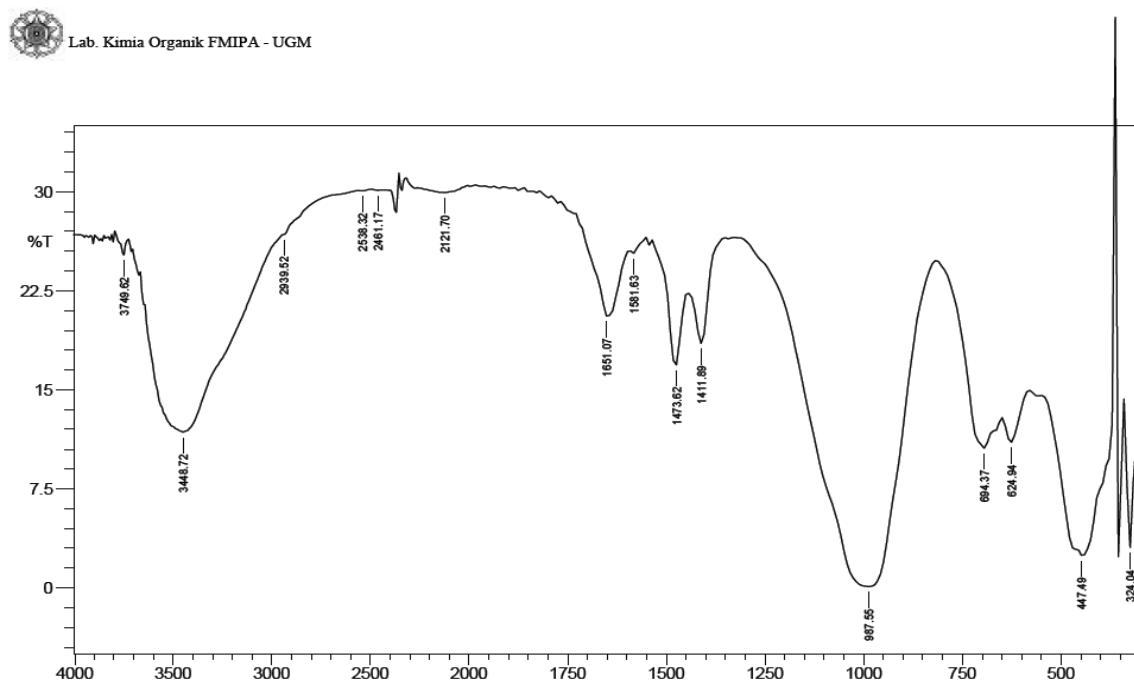
$$\text{Log } K_F = 0,357$$

$$K_F = 10^{0,357}$$

$$K_F = 2,275$$

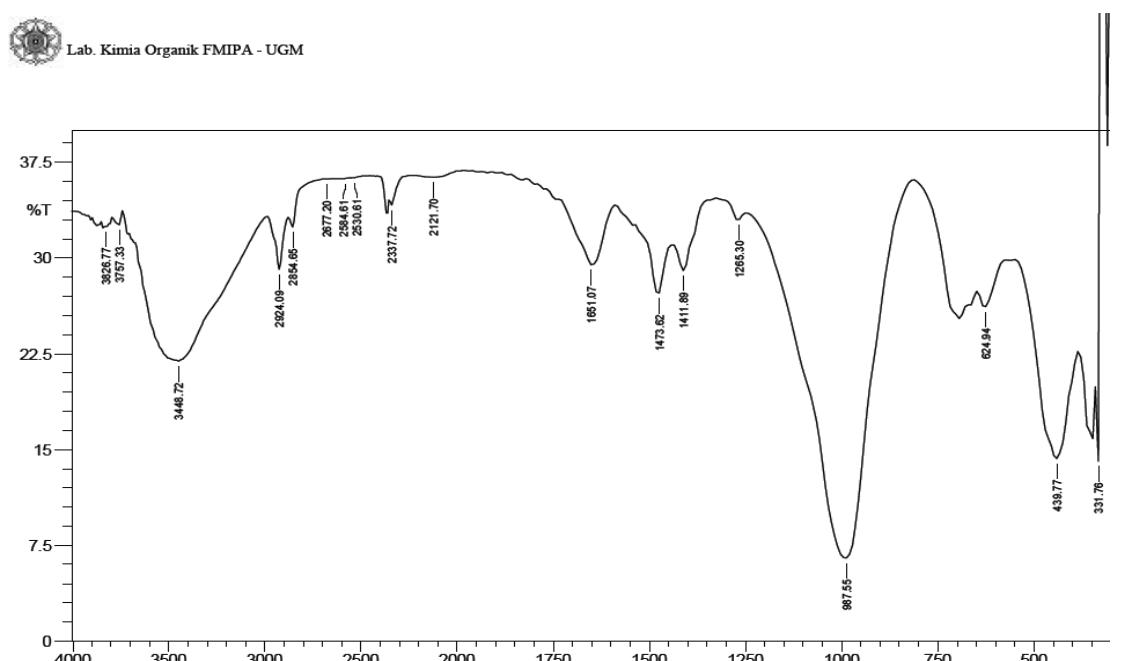
Lampiran 5. Hasil karakterisasi zeolit sintesis menggunakan FT-IR

a.

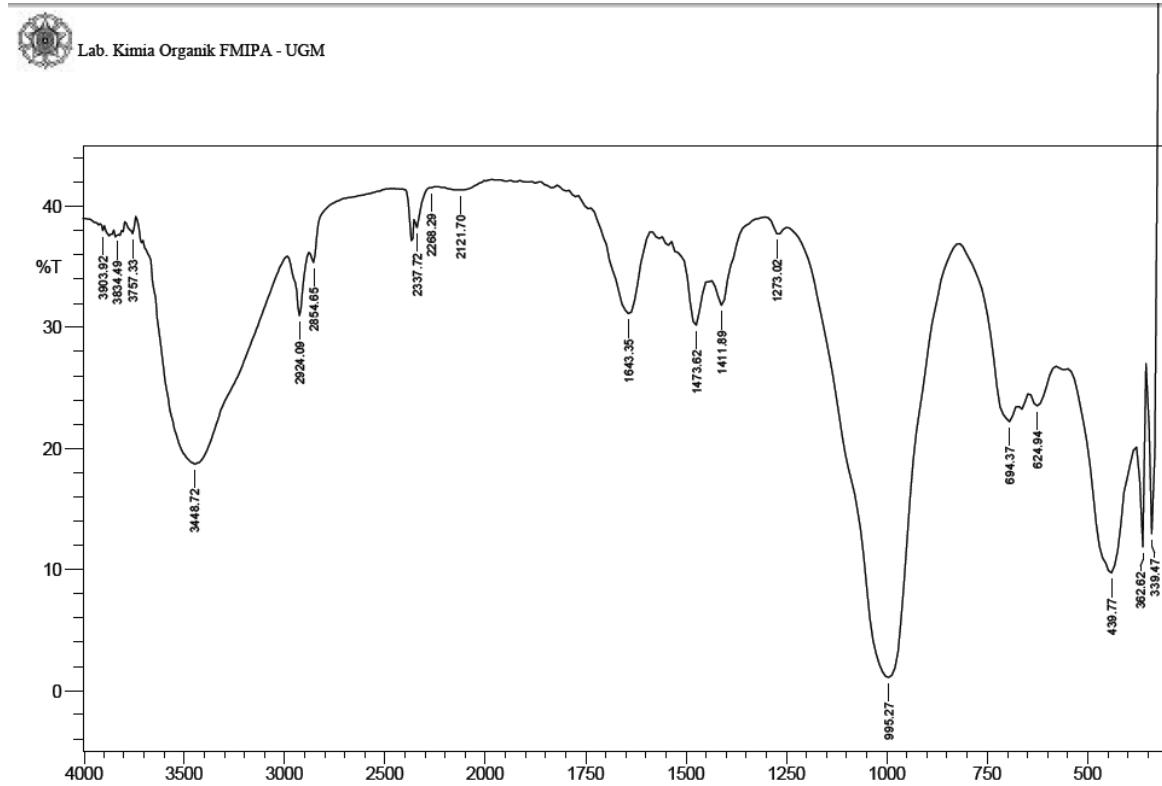


Gambar 5.1 Spektra IR zeolit dengan kalsinasi 2 jam

b.

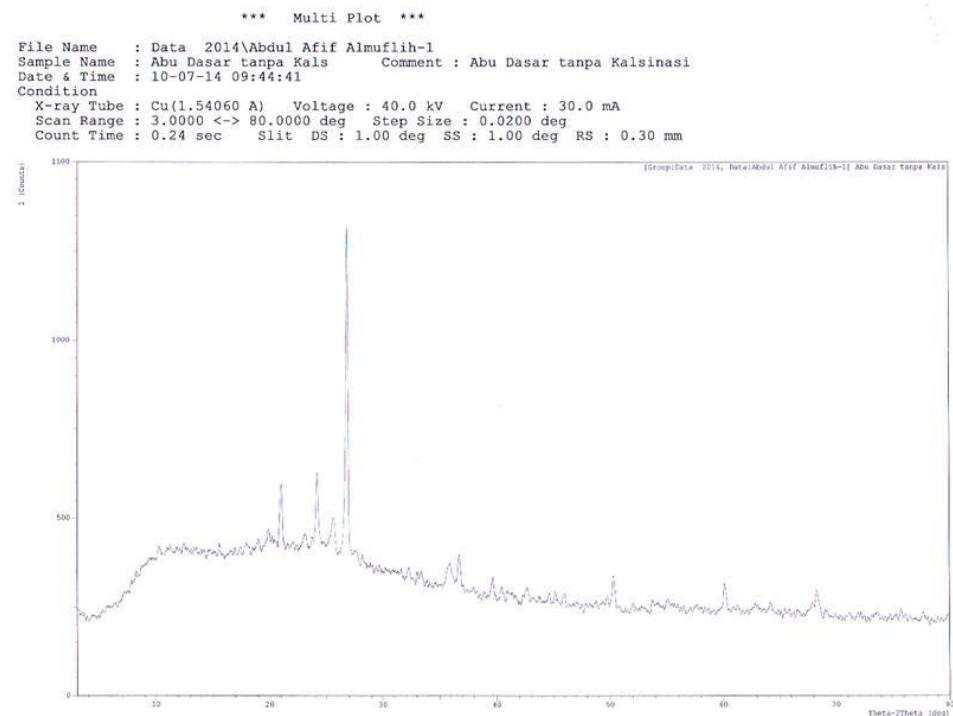


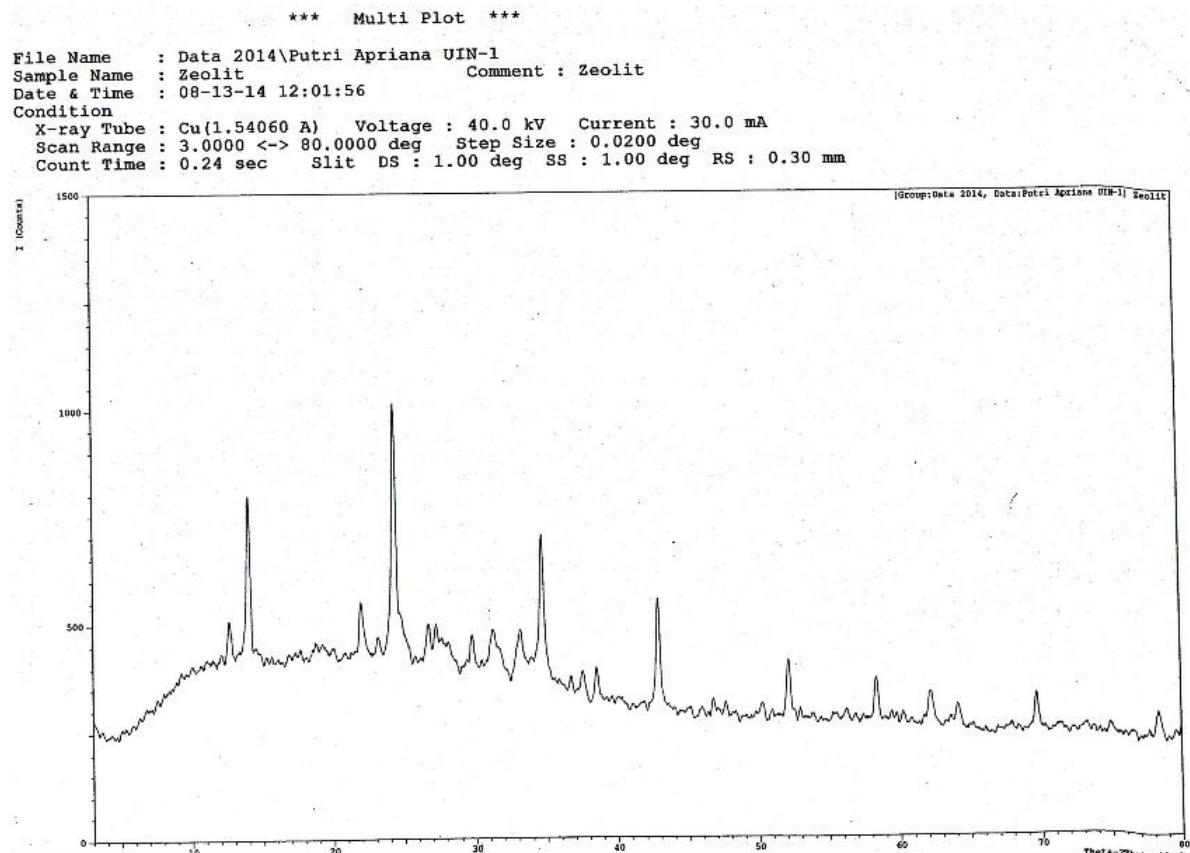
Gambar 5.2 Spektra IR zeolit dengan kalsinasi 4 jam

c.

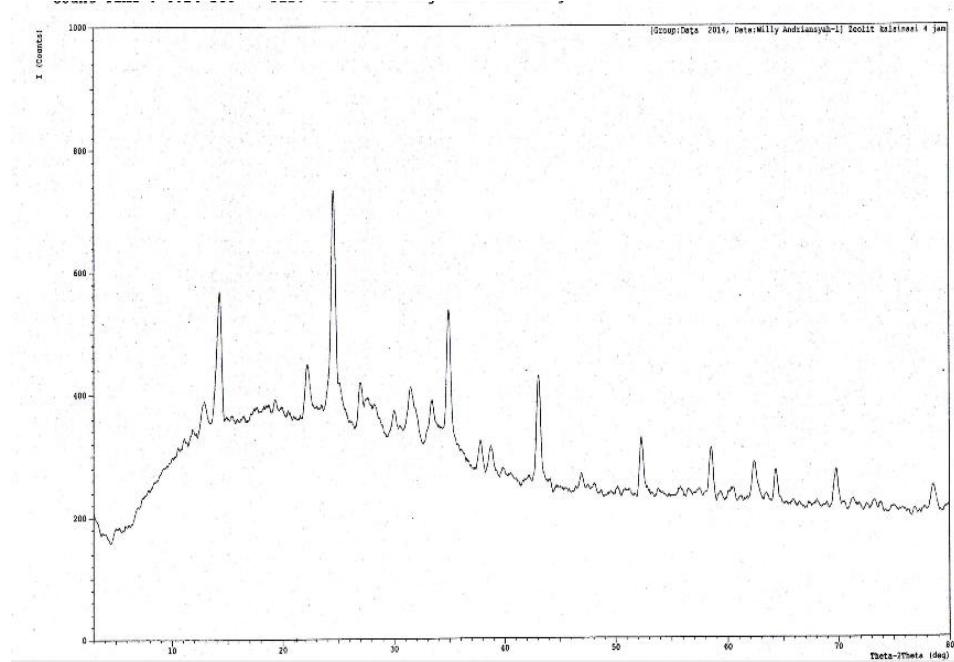
Gambar 5.3 Spektra IR zeolit dengan kalsinasi 6 jam

Lampiran 6. Hasil karakterisasi abu dasar batubara menggunakan XRD



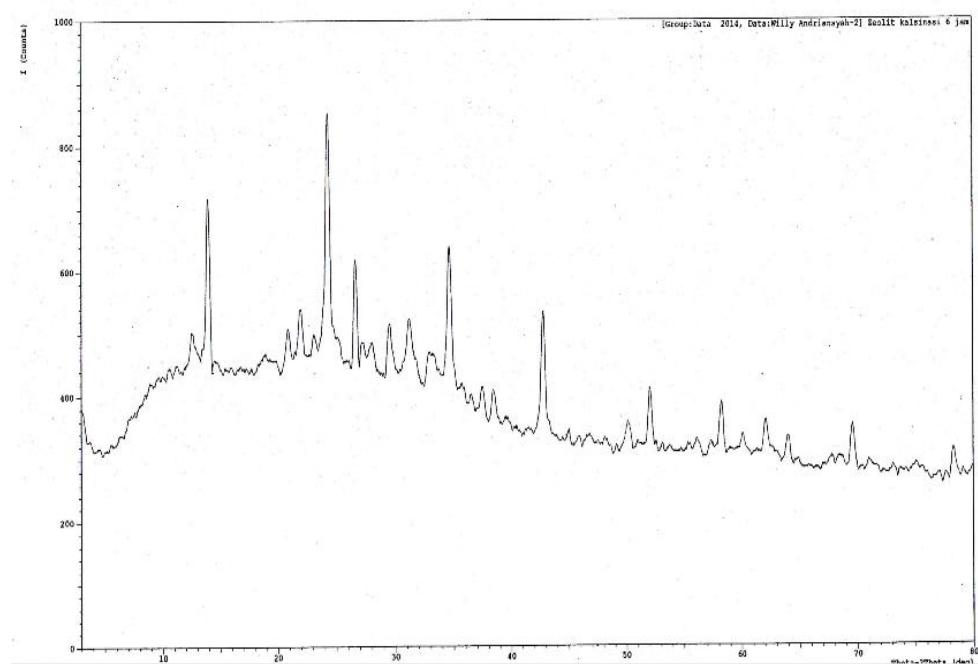
Lampiran 7. Hasil karakterisasi zeolit sintesis menggunakan XRD**a.****Gambar 7.1 Difraktogram zeolit dengan kalsinasi 2 jam**

b.



Gambar 7.2 Difraktogram zeolit dengan kalsinasi 4 jam

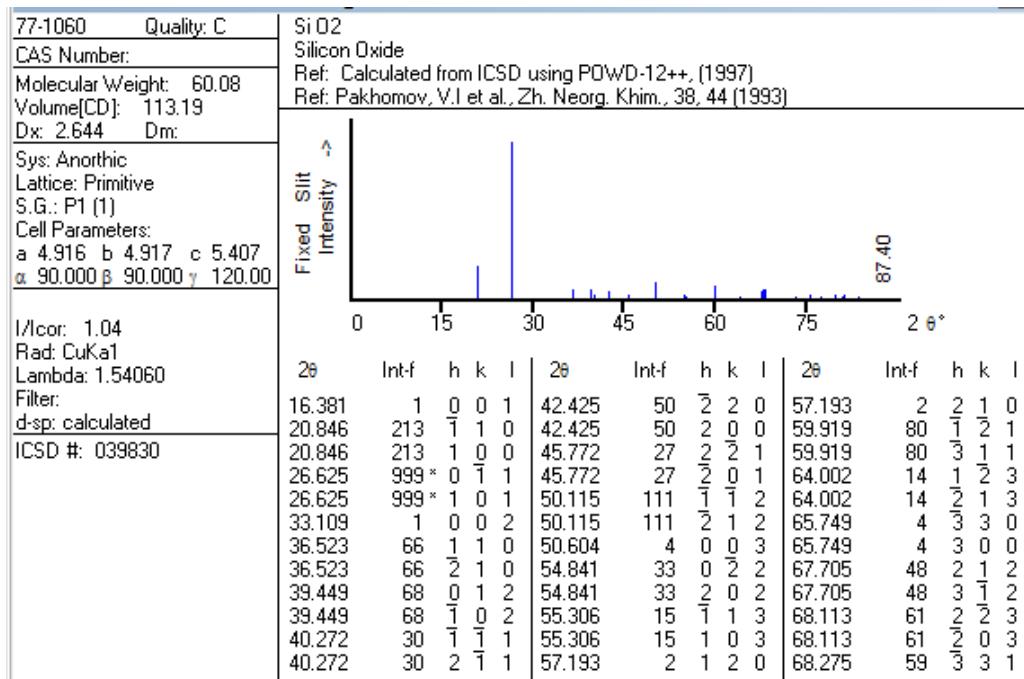
c.



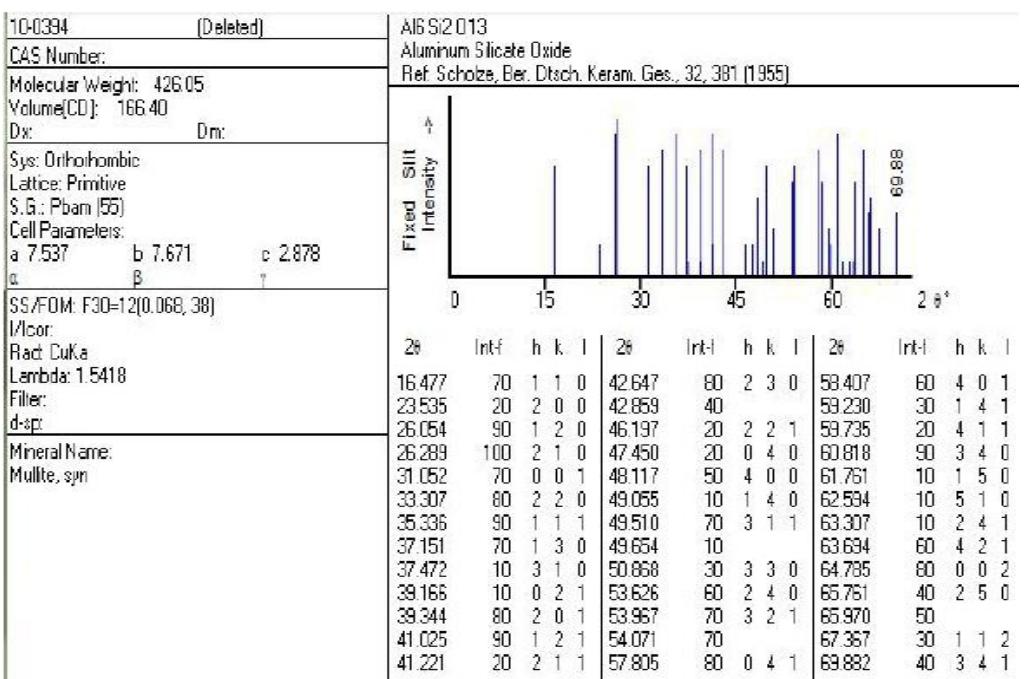
Gambar 7.3 Difraktogram zeolit dengan kalsinasi 6 jam

Lampiran 8. Data JCPDS kuarsa, mulit, hematit, sodalit, zeolit Na-Y, dan zeolit Na-P

a. Kuarsa



b. Mulit



c. Hematit

33-0664 Quality: *	Fe2 O3
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.: R3c (167)	
Cell Parameters:	
a 5.035 b c 13.748	
α β γ	
SS/FOM: F30=69(0.0111, 39)	
I/Icor: 2.4	
Rad: CuKa1	
Lambda: 1.540598	
Filter:	
d-sp: diffractometer	
Mineral Name:	
Hematite, syn	
Also called:	
burnt ochre	
colcothar	
rouge	

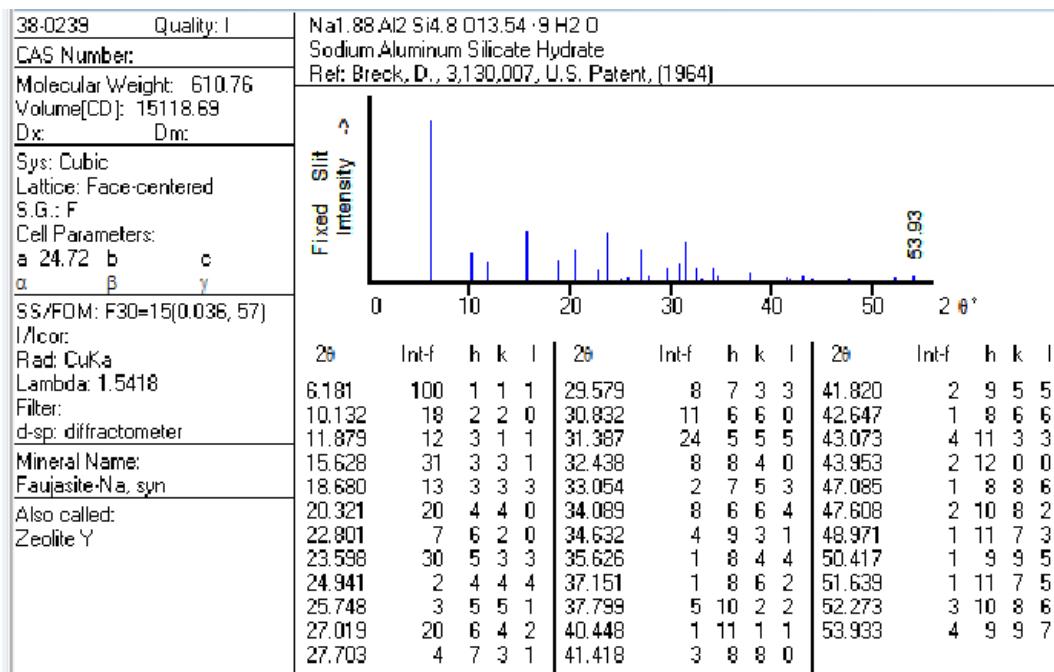
2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l
24.138	30	0	1	2	66.028	<1	1	2	5	95.239	<1	1	1	12
33.153	100	1	0	4	69.601	3	2	0	8	95.663	3	4	0	4
35.612	70	1	1	0	71.937	10	1	0	10	102.28	4	3	1	8
39.277	3	0	0	6	72.262	6	1	1	9	104.91	<1	2	2	9
40.855	20	1	1	3	75.430	8	2	2	0	106.62	5	3	2	4
43.519	3	2	0	2	77.729	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

d. Sodalit

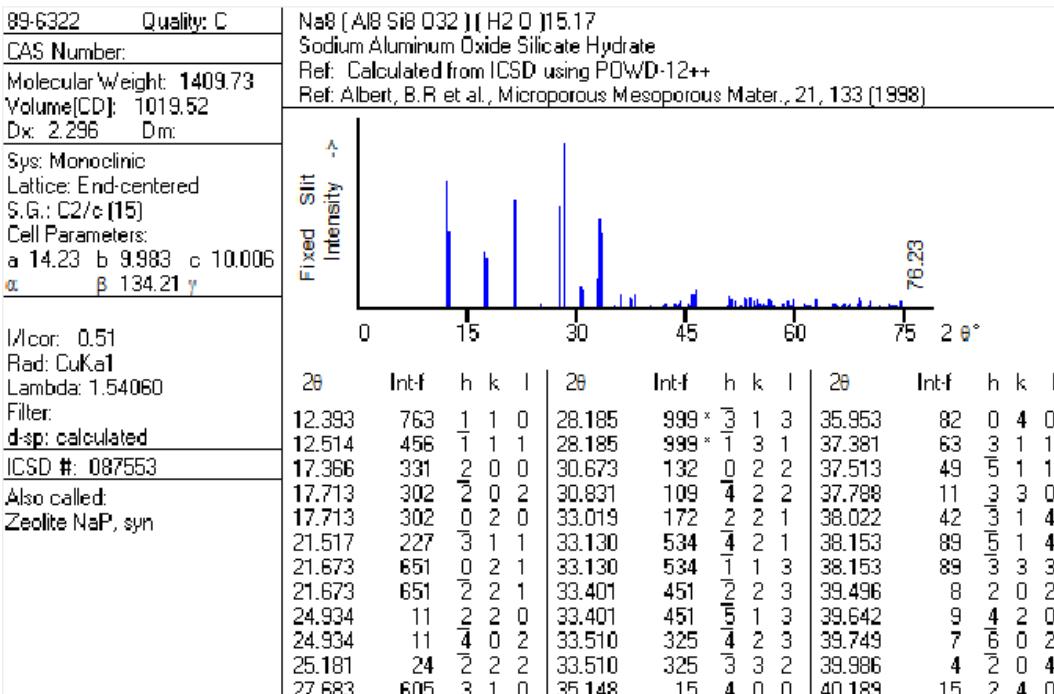
81-0106 Quality: C	Na8 (Al6 Si6 O24) Br2
CAS Number:	Sodium Aluminum Silicate Bromide
Molecular Weight: 1058.11	Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)
Volume[CD]: 712.60	Ref: Nielsen, N.C et al., Zeolites, 11, 622 (1991)
Dx: 2.466 Dm:	
Sys: Cubic	
Lattice: Primitive	
S.G.: P43n (218)	
Cell Parameters:	
a 8.932 b c	
α β γ	
I/Icor: 4.52	
Rad: CuKa1	
Lambda: 1.54060	
Filter:	
d-sp: calculated	
ICSD #: 071433	
Mineral Name:	
Sodalite, syn	

2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l	2θ	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

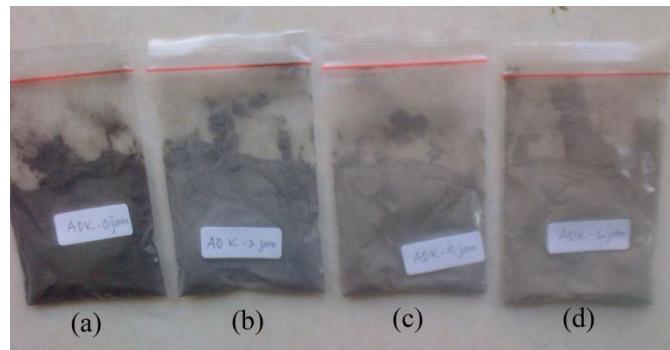
e. Zeolit Na-Y



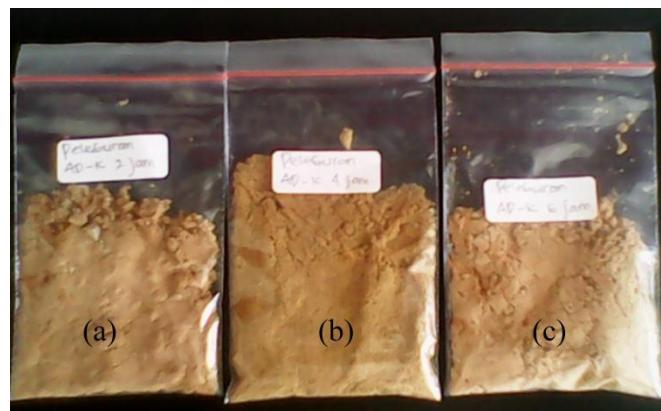
f. Zeolit Na-P



Lampiran 9. Dokumentasi penelitian



Gambar 9.1 Abu dasar batubara Madukismo (a) tanpa perlakuan, (b) kalsinasi 2 jam, (c) kalsinasi 4 jam, dan (d) kalsinasi 6 jam.



Gambar 9.2 Hasil peleburan abu dasar batubara (a) kalsinasi 2 jam, (b) kalsinasi 4 jam, dan (c) kalsinasi 6 jam dengan basa NaOH.



Gambar 9.3 Zeolit sintesis dari abu dasar batubara (a) kalsinasi 2 jam, (b) kalsinasi 4 jam, dan (c) kalsinasi 6 jam.