

**ADSORPSI ION LOGAM Pb^{2+} PADA LIMBAH ACCU ZUUR
PT MUHTOMAS MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM
TERAKTIVASI ASAM SULFAT**

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



**Oleh:
Siwi Hanjanatri
09630014**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2014**



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp :-

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

Assalamu'alaikum wr. wb.

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

Nama : Siwi Hanjanattri
NIM : 09630014
Judul Skripsi : Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+} pada Limbah *Accu Zuur* PT
Muhtomas Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam
Sulfat

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, 12 Maret 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 : Siwi Hanjanattri

NIM : 09630014

Judul Skripsi : Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+} pada Limbah *Accu Zuur* PT Muhtomas Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat

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, 12 Maret 2014

Konsultan

Didik Krisdiyanto, M.Sc

NIP. 19811111 20101 1 007



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.

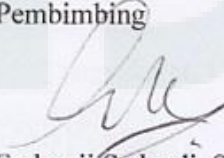
Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku konsultan berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Siwi Hanjanattri
NIM : 09630014
Judul Skripsi : Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+} pada Limbah Cair Accu Zuur PT
Muhtomas Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat

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, 12 Maret 2014
Pembimbing


Endarujji Sedyadi, S.Si., M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siwi Hanjanattri
NIM : 09630014
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

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

“Adsorpsi Ion Logam Pb²⁺ Pada Limbah *Accu Zuur* PT Muhtomas Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat”

Adalah hasil karya sendiri dan sepanjang sepengetahuan penulis tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain, kecuali bagian tertentu yang diambil sebagai bahan acuan yang secara tertulis dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 12 Maret 2014



Siwi Hanjanattri
NIM. 09630014



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/759/2014

Skrripsi/Tugas Akhir dengan judul : Adsorpsi Ion Pb^{2+} pada Limbah *Accu Zuur* PT Muhtomas Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Siwi Hanjanattri
NIM : 09630014
Telah dimunaqasyahkan pada : 20 Februari 2014
Nilai Munaqasyah : A/B
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

Didik Krisdiyanto, M.Sc
NIP.19811111 201101 1 007

Penguji II

Endaraji Sedyadi, M.Sc

Yogyakarta, 12 Maret 2014

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi

Dekan



H. Minhaji, M.A, Ph.D
NIP.19580919 198603 1 002

HALAMAN MOTTO

“Don’t ever give up, try and try to get you want”

(Endah n Ressa)

*“Jangan pernah mengerdilkan kuasa Tuhan dengan impian-impian kerdil
kita. Kalau Tuhan kita Mahahebat, kenapa kita minta yang remeh-remeh?”*

(Ahmad Rifa’i Rif’an)

“Rabbi yassir walaa tu’assir. Fain tasiira, kulla ‘asiiri ‘alaika yasiira”

Tuhan, permudahkanlah urusan kami, jangan Engkau persulit.

Karena Engkaulah Yang Maha Memudahkan.

Segala yang susah mudah bagi-Mu

*“Kesuksesan bisa dilihat dari seberapa besar usaha, kesabaran dan
doa ketika menjalaninya”*

(Siwi Hanjanattri)

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Teruntuk orang-orang terkasih
Bapak, Ibu dan kedua kakak laki-laki
dengan doa dan dukungannya
Almarhum adik dengan semangat kekuatan
melawan penyakitnya
Dan untuk almamater tercinta
Program Studi Kimia
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahim. Alhamdulillahirrabil'alamin

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena dengan rahmat-Nyalah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Adsorpsi Ion Logam Pb²⁺ Pada Limbah Accu Zuur PT Muhtomas Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat**” sebagai syarat menyelesaikan studi Strata-1 dengan baik. Shalawat dan salam selalu tercurah kepada Nabi Agung Muhammad SAW, keluarga serta para sahabat yang selalu menjadi suri tauladan bagi umatnya.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penyelesaian penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari banyak pihak. Terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Sarjono, Ibu Trisnowati, mas Sunu Perdananingtyas, mas Yoga Tsanindita dan Alm adek Atma Arbi Falah dengan semua doa, dukungan dan nasihatnya.
2. Bapak Prof. Drs. H. Akh. Minhaji, MA. Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
3. Bapak Khamidinal, M.Si dan Didik Krisdiyanto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah memberikan kritik dan masukan yang tiada lelah.
4. Ibu Esti Wahyu Widowati, M.Si, M.Biotech., selaku Kepala Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi.

5. Seluruh dosen dan karyawan program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, terima kasih atas ilmu yang diajarkan dan bantuannya selama ini.
6. Bapak Wahyudi Wibowo yang telah memberikan bahan dan masukan-masukan tentang penelitian.
7. Andika Munandar yang selalu ada untuk menemani. Terimakasih atas kebersamaannya.
8. Sahabat terbaik, teman-teman kimia 2009 yang memberi banyak masukan dan semangat.
9. Buat mas Duta, Eros, Adam dan Brian terima kasih untuk lirik-lirik indahny.

Penulis menyadari bahwa Tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Maret 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	ii
NOTA DINAS KONSULTAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.	ix
DAFTAR ISI....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
INTISARI.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
A. Tinjauan Pustaka	6
B. Dasar Teori	

1. <i>Accu Zuur</i>	9
2. Zeolit	10
3. Sifat-sifat Zeolit	11
3.1 Penukar Ion	11
3.2 Dapat Terdehidrasi	12
3.3 Penyaring/pemisah	12
4. Teori Adsorpsi.....	13
5. Aktivasi Zeolit.....	14
6. Isoterm Adsorpsi	16
7. Kinetika Adsorpsi.....	18
8. Model Termodinamika.....	19
9. <i>Fourier Transformation Infra Red (FTIR)</i>	20
10. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	22
11. <i>Surface Area Analyzer (SAA)</i>	23
12. <i>Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)</i>	24
C. Hipotesa.....	25
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	26
B. Alat	26
C. Bahan.....	26
D. Prosedur Penelitian.....	26
1. Preparasi Zeolit Alam.....	26
2. Pengaktifan Zeolit Alam Menggunakan Asam Sulfat.....	27

3. Proses Adsorpsi	27
3.1 Variasi Bobot Adsorben	27
3.2 Variasi Waktu Pengadukan	27
3.3 Variasi Suhu	28
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Karakterisasi Dengan FTIR.....	29
B. Karakterisasi Dengan XRD	31
C. Karakterisasi Dengan SAA	36
D. Perlakuan Zeolit Sebagai Adsorben Berdasarkan Variasi.....	38
1. Variasi Bobot Adsorben dan Parameter Kesetimbangan	38
2. Variasi Waktu Pengadukan dan Parameter Kinetika.....	42
3. Variasi Suhu dan Parameter Termodinamika.....	46
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	51
B. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	(a) Tetrahedral alumina dan silika dan (b) struktur zeolit SiO_4 dan AlO_4	11
Gambar 4. 1	(a) spektra IR zeolit alam, (b) spektra IR zeolit teraktivasi asam .	30
Gambar 4. 2	(a) difraktogram sinar-x zeolit alam, (b) difraktogram sinar-x zeolit teraktivasi asam	32
Gambar 4. 3	Presentase klipnotilolit dan modernit (a) zeolit alam dan (b) zeolit teraktivasi asam	32
Gambar 4. 4	Gambar a dan b menunjukkan garis <i>hyteris loop</i> untuk zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam.....	36
Gambar 4. 5	Grafik variasi bobot pada sampel <i>accu</i> Incoe	39
Gambar 4. 6	Grafik variasi bobot pada sampel <i>accu</i> Gstar.....	39
Gambar 4. 7	Grafik variasi waktu pada sampel <i>accu</i> Incoe.....	43
Gambar 4. 8	Grafik variasi waktu pada sampel <i>accu</i> Gstar	44
Gambar 4. 9	Grafik variasi suhu pada sampel <i>accu</i> Incoe	47
Gambar 4. 10	Grafik variasi suhu pada sampel <i>accu</i> Gstar	47

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil analisis FTIR.....	30
Tabel 4. 2 Interpretasi 2θ zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam	33
Tabel 4. 3 Tabel SAA terhadap zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam.....	37
Tabel 4. 4 Distribusi pori zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam	37
Tabel 4. 5 Isoterm Langmuir dan Freundlich <i>accu</i> Incoe	40
Tabel 4. 6 Isoterm Langmuir dan Freundlich <i>accu</i> Gstar	41
Tabel 4. 7 Kinetika adsorpsi <i>accu</i> Incoe	45
Tabel 4. 8 Kinetika adsorpsi <i>accu</i> Gstar	45
Tabel 4. 9 Nilai energi Gibbs dari <i>accu</i>	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Diagram Blok	57
Lampiran 2 : Perhitungan presentase zeolit	60
Lampiran 3 : Perhitungan distribusi pori	61
Lampiran 4 : Data adsorpsi zeolit alam pada <i>accu</i> Incoe.....	62
Lampiran 5 : Data adsorpsi zeolit teraktivasi asam pada <i>accu</i> Incoe	67
Lampiran 6 : Data adsorpsi zeolit alam pada <i>accu</i> Gstar.....	72
Lampiran 7 : Data adsorpsi zeolit teraktivasi asam pada <i>accu</i> Gstar.....	76

INTISARI

Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+} Pada Limbah *Accu Zuur* PT Muhtomas Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat

Oleh :
Siwi Hanjanattri
09630014

=====

Telah dilakukan karakterisasi dan aplikasi zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam sebagai adsorben dalam proses adsorpsi limbah logam berat Pb^{2+} pada *accu zuur* dari PT Muhtomas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter dan kapasitas adsorpsi dari zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam sebagai adsorben ion logam Pb^{2+} dalam *accu zuur*.

Zeolit alam diaktivasi menggunakan asam sulfat 0,5 M. Padatan zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X, *Fourier Transformation Infrared* (FTIR) dan *Surface Area Analyzer* (SAA). Aplikasi zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam selanjutnya digunakan untuk mengadsorp ion logam Pb^{2+} . Pengaruh bobot adsorben dipelajari dalam isoterm adsorpsi, pengaruh waktu pengadukan dipelajari dalam kinetika reaksi dan pengaruh suhu dipelajari dalam termodinamika.

Hasil penelitian menunjukkan bobot adsorben optimum untuk mengadsorp ion logam Pb^{2+} yaitu 1,25 gram dan model isoterm yang sesuai untuk adsorpsi ion logam Pb^{2+} pada *accu zuur* yaitu model isoterm Freundlich. Waktu untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi tercapai pada menit ke-90 dan model kinetika reaksi yang sesuai adalah pseudo orde dua. Suhu optimum untuk proses adsorpsi terjadi pada $60^{\circ}C$ dengan harga energi entalpi menunjukkan bahwa adsorpsi cenderung bersifat fisik dengan harga entalpi reaksi antara -4 sampai dengan -40 kJ mol^{-1} .

Kata kunci : zeolit, *accu zuur*, adsorpsi, isoterm Freundlich, pseudo orde dua dan energi entalpi.

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pada era globalisasi seperti sekarang banyak bermunculan industri besar maupun kecil. Industri tersebut menghasilkan limbah yang tidak sedikit dan diantaranya merupakan limbah yang tergolong dalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Limbah yang dihasilkan dari industri biasanya berupa limbah logam berat (Wahyuni, 2010).

Salah satu industri yang menghasilkan limbah logam berat adalah industri *accu zuur*. *Accu* merupakan komponen penting dalam kendaraan bermotor. Pertumbuhan penjualan otomotif yang sangat pesat menuntut ketersediaan *accu* yang cukup besar pula. Limbah *accu* yang tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan pencemaran lingkungan logam berat sisa dari *accu*, sehingga umumnya *accu* yang sudah tidak terpakai akan dikumpulkan dan didaur ulang atau dilebur kembali (Bayuseno, 2009).

Efek logam berat dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan walaupun pada konsentrasi yang sangat rendah (Fahmiati, 2004). Beberapa logam berat yang dapat mencemari lingkungan dan bersifat toksik adalah krom (Cr), perak (Ag), kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn), merkuri (Hg), tembaga (Cu), besi (Fe), molibdat (Mo), nikel (Ni), timah (Sn), kobalt (Co) dan unsur-unsur yang termasuk ke dalam logam ringan seperti arsen (As), aluminium (Al) dan selenium (Se).

Komponen utama *accu* terdiri dari 35% asam sulfat dan 65% air suling dengan dua plat logam Pb sebagai kation dan anion. Proses penggunaan *accu* menghasilkan limbah berupa logam timbal atau Pb. Timbal (Pb) termasuk kelompok logam beracun, yang berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup. Dalam peredaran darah dan otak dapat menyebabkan gangguan sintesis hemoglobin darah, gangguan neurologi (susunan syaraf), gangguan pada ginjal, sistem reproduksi, penyakit akut atau kronik sistem syaraf, dan gangguan fungsi paru-paru. Toksisitas Pb terjadi apabila dalam darah ditemukan kandungan Pb $\geq 0,08$ mg atau dalam urine $\geq 0,15$ mg/L (Darmono, 2001).

Teknologi daur ulang *accu* yang digunakan saat ini masih bervariasi dari yang sederhana hingga teknologi tinggi. Metode yang telah dikembangkan untuk menangani masalah limbah di perairan, termasuk presipitasi, separasi dengan membran, pertukaran ion, dan adsorpsi. Metode presipitasi adalah metode yang paling ekonomis tetapi inefisien untuk larutan encer, metode pertukaran ion atau osmosis balik pada umumnya efektif, tetapi memerlukan peralatan dan biaya operasional yang relatif tinggi (Wahyuni, 2010).

Metode yang sering digunakan untuk menangani masalah limbah di perairan adalah melalui teknik pengendapan maupun menggunakan adsorben (zat penjerap). Metode adsorpsi adalah salah satu metode alternatif yang potensial karena prosesnya yang relatif sederhana, dapat bekerja pada konsentrasi rendah, dapat didaur ulang, dan biaya yang dibutuhkan relatif

murah. Berbagai macam adsorben yang dapat digunakan untuk adsorpsi antara lain silika gel, kitin, kitosan, asam humat maupun zeolit.

Zeolit alam adalah zeolit yang ditambang langsung dari alam. Zeolit alam merupakan produk dari gunung berapi berupa batuan vulkanik yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga membentuk mineral-mineral zeolit. Zeolit dapat ditemukan di daerah Jawa, DIY dan Sumatera. Zeolit terbentuk oleh tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang saling terhubungkan oleh atom-atom oksigen sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga yang didalamnya terisi ion-ion logam sehingga baik digunakan sebagai adsorben. Zeolit alam memiliki banyak pengotor serta kristalinitas yang kurang baik. Perbaikan karakter zeolit alam sebagai adsorben biasanya dilakukan dengan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu (Lestari, 2010).

Aktivasi zeolit ada dua cara yaitu aktivasi secara fisika dan aktivasi secara kimia. Aktivasi secara fisik dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu tinggi. Namun cara ini tidak efektif untuk zeolit karena pemanasan pada suhu tinggi akan menyebabkan banyak ion-ion dalam zeolit yang hilang. Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan penambahan asam atau basa. Asam yang digunakan bersifat asam kuat diantaranya HCl, H_2SO_4 dan HNO_3 sedangkan basa yang digunakan adalah NaOH.

Penelitian ini, akan melakukan adalah pemanfaatan zeolit alam sebagai adsorben ion logam berat Pb^{2+} dalam limbah *accu zuur*. Zeolit alam

yang akan digunakan diaktivasi terlebih dahulu menggunakan H_2SO_4 agar memiliki daya adsorpsi yang lebih baik. Asam sulfat merupakan asam kuat yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dengan melarutkan pengotor-pengotor organik dan anorganik yang berada didalam pori-pori zeolit (Rosdiana, 2006).

B. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak meluas, maka batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Zeolit alam yang digunakan sebagai adsorben berasal dari Gunung Kidul Yogyakarta.
2. Aktivasi zeolit alam menggunakan asam sulfat 0,5 M.
3. Karakterisasi zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam dilakukan dengan XRD sebagai uji kristalinitas, gugus fungsi dengan FTIR dan porositas dengan SAA.
4. Ion logam yang diadsorp adalah Pb.
5. Jenis *accu zuur* yang digunakan adalah *accu* Incoe dan *accu* Gstar PT Muhtomas.
6. Karakter adsorpsi diketahui dengan menggunakan kesetimbangan, kinetika dan termodinamika adsorpsi.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakter zeolit alam dan zeolit teraktivasi asam sulfat ?

2. Bagaimana adsorpsi logam Pb^{2+} pada limbah *accu zuur* dengan zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi asam sulfat ?
3. Bagaimana kinetika adsorpsi logam Pb pada limbah *accu zuur* dengan zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi asam sulfat ?
4. Bagaimana termodinamika adsorpsi logam Pb pada limbah *accu zuur* dengan zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi asam sulfat ?

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

1. Mengetahui karakter zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi asam sulfat sebagai adsorben untuk ion logam Pb^{2+} pada *accu zuur*.
2. Mengetahui adsorpsi ion logam Pb^{2+} yang terjadi pada *accu zuur* dengan zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi asam.
3. Mengetahui kinetika adsorpsi ion logam Pb^{2+} yang terjadi pada *accu zuur* dengan zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi asam.
4. Mengetahui termodinamika adsorpsi ion logam Pb^{2+} yang terjadi pada *accu zuur* dengan zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi asam

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, diantaranya:

1. Sebagai salah satu referensi dalam memberikan informasi mengenai kapasitas adsorpsi zeolit alam dalam mengadsorpsi ion logam berat dalam *accu zuur*.
2. Memberikan informasi tambahan untuk industri yang akan mengaplikasikan zeolit sebagai adsorben limbah logam berat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis tersebut, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1 Zeolit teraktivasi asam sebagai adsorben ion logam Pb^{2+} *accu* merupakan jenis modernit dilihat dari kristalinitas, dengan gugus Si/Al yang semakin besar karena adanya proses dealuminasi dan menyebabkan luas permukaan zeolit bertambah dengan jari-jari pori yang semakin kecil.
- 2 Isoterm adsorpsi pada zeolit alam *accu* Incoe lebih mengikuti Langmuir sedangkan adsorpsi zeolit teraktivasi asam *accu* Incoe dan adsorpsi pada Gstar mengikuti Freundlich. Hal ini disebabkan perbedaan dari permukaan adsorben sehingga menyebabkan distribusi adsorbat yang tidak merata.
- 3 Kinetika reaksi adsorpsi ion Pb^{2+} pada *accu* Incoe dan Gstar mengikuti laju pseudo dua.
- 4 Pada termodinamika, energi entalpi yang dihasilkan menunjukkan adsorpsi fisik sehingga menguatkan hasil dari isoterm Freundlich. Energi Gibbs bernilai positif yang berarti reaksi berjalan endoterm karena membutuhkan energi. Energi entropi bernilai negatif menunjukkan adanya keteraturan pada sistem adsorben dan adsorbat.

B. SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya yang mengacu pada skripsi ini yaitu:

- 1 Menggunakan pelarut asam atau basa selain asam sulfat dalam proses aktivasi dengan zeolit.
- 2 Dapat dilakukan proses adsorpsi ion logam lain selain Pb semisal Fe dan Cd yang merupakan limbah logam berat dari *accu*.
- 3 Perlu dilakukan uji karakterisasi terhadap zeolit yang telah dipakai sebagai adsorben.



Daftar Pustaka

- Agustiningtyas, Z. 2012. Optimisasi Adsorpsi Ion Pb(II) Menggunakan Zeolit Alam Termodifikasi Ditizon. *Skripsi*. Departemen Kimia Fakultas MIPA. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Arryanto, Y. 2009. *Material Canggih : Rekayasa material Berbasis Sumber Daya Alam Silika-Alumina*. Yogyakarta: Jurusan Kimia FMIPA UGM.
- Atkins, P.W. 1994. *Kimia Fisika jilid I*. Kartohadiprodjo II, penerjemah; Rohhadyan T, editor. Oxford: OxfordUniversity Press. Terjemahan dari: Physical Chemistry.
- Atkins, P.W. 1996. *Kimia Fisika jilid II*. Kartohadiprodjo II, penerjemah; Rohhadyan T, editor. Oxford: OxfordUniversity Press. Terjemahan dari: Physical Chemistry.
- Bayuseno, A.P. 2009. Evaluasi Proses Daur Ulang Sel Accu Bekas Serta Kualitas Produk Timbal. *Rotasi*. Volume 11. No 1. Hal 15-25
- Breck, D.W. 1974. *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use*. John Wiley & Sons. New York.
- Darmono, 2001. *Lingkungan Hidup Dan Pencemaran*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- Daud, S. 2011. Sintesa Katalis Molibden Zeolit Klinoptilolit Dan Aplikasinya Untuk Desulfurisasi Senyawa Asam Merkaptopropanoat. *Tesis*. FMIPA Kimia. Universitas Indonesia. Tangerang. Hal 21
- Fatimah, I. 2012. *Kinetika Kimia*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Fatimah, I dan Karna. 2005. Sintesis TiO_2 /Zeolit Sebagai Fotokatalis Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi-Fotodegradasi. *Teknoin*. Vol 10. No 4. Hal 262
- Fatimah, I. 2000. Penggunaan Na-Zeolit Alam Teraktivasi Sebagai Penukar Ion Cr^{3+} Dalam Larutan. *Logika*. Volume 4. Nomor 5. Hal 29
- Gatri, D. 2012. Modifikasi Zeolit Alam Dengan Polianilin (PANI) Sebagai Adsorben Ion Logam Berat. *Skripsi*. FMIPA Program Studi Kimia. Universitas Indonesia. Tangerang

- Ginting, A B, Dian A, Sutri I dan Rosika K. 2007. Karakterisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori Dan Sifat Termal Dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya, Dan Lampung. *J. Tek. Bhn. Nuklir*. Vol 3. No 1: Hal 1–48
- Hendrawan, A. 2010. Adsorpsi Unsur Pengotor Larutan Natrium Silikat Menggunakan Zeolit Alam Karangtunggal. *Skripsi*. Fak Sains dan Teknologi Prodi Kimia. UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta. Hal 6-7
- Jon, Hery. 2006. Karakterisasi Zeolit Alam Termodifikasi Asam. *Skripsi*. FMIPA Jurusan Kimia. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hal 10
- Kesuma, R F; Berlian S dan Adhitiyawarman. 2013. Karakterisasi Pori Adsorben Berbahan Baku Kaolin Capkala dan Zeolit Dealuminasi. Pontianak: *JKK*. Hal 19-23
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Terjemahan A. Saptoraharjo. Jakarta: UI Press.
- Kismolo, E., Nurimaniwathy dan Tri S. 2008. Optimasi Pemanfaatan Zeolit Alam dari Gunung Kidul Untuk Reduksi Kadar Cesium Dalam Limbah Radioaktif Cair. *Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju*. Yogyakarta
- Kristiyani, D. 2012. Pemanfaatan Zeolit Abu Sekam Padi untuk Menurunkan Kadar Ion Pb^{2+} pada Air Sumur. *Indonesian Journal of Chemical Science*. No 1. Vol 1. Hal 18
- Kok, T. 2008. Modifikasi Zeolit Alam Dan Pemanfaatannya Untuk Menurunkan Kadar Pencemaran Tembaga Dari Limbah Air Buangan. *Artocarpus*, Vol 8. No 2. Hal 74-84
- Las, T; Florentinus F dan Afrit H. 2011. Adsorpsi Unsur Pengotor Larutan Natrium Silikat Menggunakan Zeolit Alam Karangnunggal. *Valensi*. Vol 2 No 2. Hal 368-378
- Lestari, D Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Profesionalisme Peneliti dan Penyidik Dalam Riset dan Pembelajaran yang Berkualitas dan Berkarakter*. Yogyakarta. Hal 1-6
- Natsir, A; Hadi S dan Yenni F. 2009. Air Hujan Sebagai Alternatif Pengencer Elektrolit Baterai Pada Pembangkit Sistem Hibrid. *Jurnal Teknik Rekayasa*. Volume 10. No 1. Hal 15
- Notodarmojo, S. 2004. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: ITB Press.
- Nuzula, F. 2004, Adsorpsi Cd^{2+} , Ni^{2+} dan Mg^{2+} pada 2- Merkapto Benzimidazol yang Diimobilisasikan pada Silika Gel. *Tesis*. Yogyakarta: FMIPA UGM

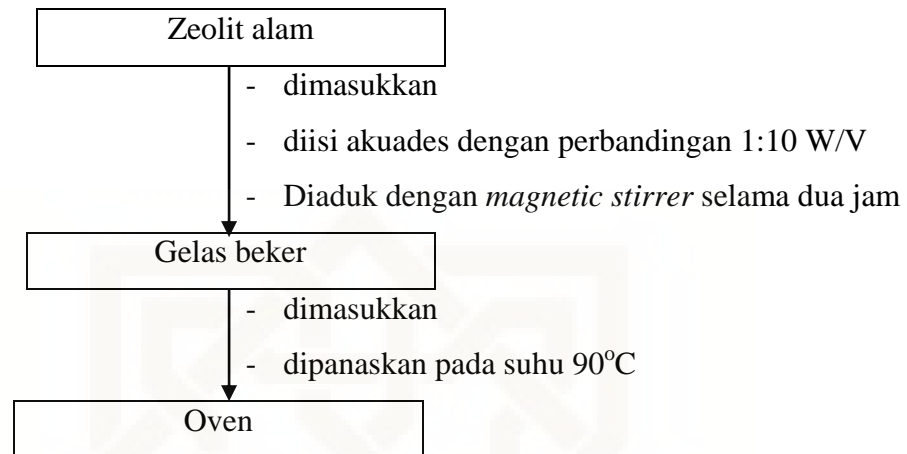
- Raghuvanshi, S.P; Sing R and Kaushik CP. 2004. Kinetics study of methylene blue dye biadsorption on baggase. *App Ecol Env Researches*. Vol 2. Hal 35-43.
- Rianto, L.B; Suci A dan Susi N.K. 2012. Pengaruh Impregnasi Logam Titanium Pada Zeolit Alam Malang Terhadap Luas Permukaan Zeolit. *Alchemy*. Vol 2. No 1. Hal 58-67
- Rini, D K dan Fendy A L. 2010. Optimasi Aktivasi Zeolit Alam Untuk Dehumidifikasi. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Kimia. Universitas Diponegoro. Semarang
- Rohatin. 2011. Modifikasi Zeolit Klinoptilolit Dengan Nanopartikel Au dan Ligan Asam 3-Merkaptopropanoat Serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Logam Berat. *Skripsi*. FMIPA Program Studi Kimia. Universitas Indonesia. Tangerang. Hal 13-14
- Rosdiana, T. 2006. Pencirian dan Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Alam Teraktivasi. *Skripsi*. Bogor: Departemen Kimia FMIPA IPB
- Sartono. 1997. Perawatan Aki Kendaraan Bermotor. *Eksplorium*. Vol XIX. No 110. Hal 35
- Soemarto, J.D.H. 1980. *Teknik Mobil*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional
- Sriatun, dan Adi D. 2005. Dealuminasi Zeolit Alam Cipatujah Melalui Penambahan Asam dan Oksidator. *JSKA*. Vol VIII. No 2. Hal 7
- Sriatun , Dimas B dan Adi D. 2005. Pengaruh Penambahan Surfaktan *Hexadecyltrimethylammonium* (HDTMA) Pada Zeolit Alam Terdealuminasi Terhadap Kemampuan Mengadsorpsi Fenol. Semarang: Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Fmipa Undip Semarang. Hal 1-7
- Suardana, I N. 2008. Optimalisasi Daya Adsorpsi Zeolit Terhadap Ion Kromium (III). *JPPSH Lembaga Penelitian Undiksha*. Vol 1, Hal 17-33
- Sulistiyawati, S. 2008. Modifikasi Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II). *Skripsi*. Bogor: Departemen Kimia Fakultas MIPA IPB
- Suparno. 2010. Degradasi Zat Warna Indigosol Dengan Metode Oksidasi Katalitik Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi dan Ozonasi. *Tesis*. FMIPA Program Pascasarjana Kimia. Universitas Indonesia. Tangerang. Hal 14-15
- Suseno. 2010. Immobilisasi Dithizon Secara Fisika Pada Zeolit Alam Dan Studi Kemampuan Adsorpsinya Terhadap Logam Pb(II). *Jurnal Kimia dan Teknologi*. Hal 34-43

- Suyartono dan Husaini. 1991. Tinjauan terhadap kegiatan penelitian karakterisasi dan pemanfaatan zeolit Indonesia yang dilakukan PPTM Bandung Periode 1890-1991. *Buletin PPTM. JPPSH*.
- Suwardi. 2000. Mineral Zeolit : Sifat-sifat dan Pemanfaatan di Bidang Pertanian. Bogor: Departemen Manajemen Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB.
- Syafii, F; Sugiarti, S dan Charlena. 2010. Modifikasi Zeolit Melalui Interaksi Dengan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ Untuk Meningkatkan Kapasitas Tukar Anion. *Prosiding Seminar Nasional Sains III*. Bogor
- Treacy, M.M.J and J.B. Higgins. 2001. Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites. London: Published on behalf of the Structure Commission of the International Zeolite Association Fourth Revised Edition
- Utami, R. 2012. Modifikasi Zeolit Alam Dengan Nanokitosan Sebagai Adsorben Ion Logam Berat dan Studi Kinetikanya Terhadap Ion $\text{Pb}(\text{II})$. *Skripsi*. Tangerang: Universitas Indonesia
- Wahyuni, E T. 2010. Limbah Bahan Beracun Dan Berbahaya (B3): Permasalahan Dan Upaya Pengolahannya Dengan Bahan Alam. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Wahyuni, S dan Nurul W. 2010. Adsorpsi Ion Logam $\text{Zn}(\text{II})$ pada Zeolit A Yang Disintesis Dari Abu Dasar Batubara PT Ipmomi Paiton Dengan Metode Batch. *Prosiding Tugas Akhir Semester Ganjil 2009/2010*. Surabaya
- Wardani, R.K; Handoko D dan Aning P. . 2013. Pemanfaatan Abu Bawah Batubara (*Bottom Ash*) Teraktivasi Sebagai Adsorben Ion Logam Cd^{2+} . Surabaya: Prodi Kimia Jurusan Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Hal 1-15
- Wong-Ng, W. 2001, JCPDS-ICDD Research Associateship (Cooperative Program With NBS/NIST). *J. Rest. Natl. Inst. Stand. Technol*, Vol 106. No.6.
- Yamliha, A, Bambang DA dan Wahyunanto AN. Pengaruh Ukuran Zeolite Terhadap Penyerapan Karbondioksida (CO_2) pada Aliran Biogas. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis* Vol. 1 No. 2. Hal 71.
- Yuwanti, R, Erman dan Nurhayati. 2013. Kesetimbangan Adsorpsi $\text{Pb}(\text{II})$ Pada Lempung Alam Desa Talanai Kabupaten Kampar. Pekanbaru: FMIPA Universitas Riau. Hal 1-14
- Zakaria, A. 2011. Adsorpsi $\text{Cu}(\text{II})$ Menggunakan Zeolit Sintetis Dari Abu Terbang Batu Bara. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Hal 35

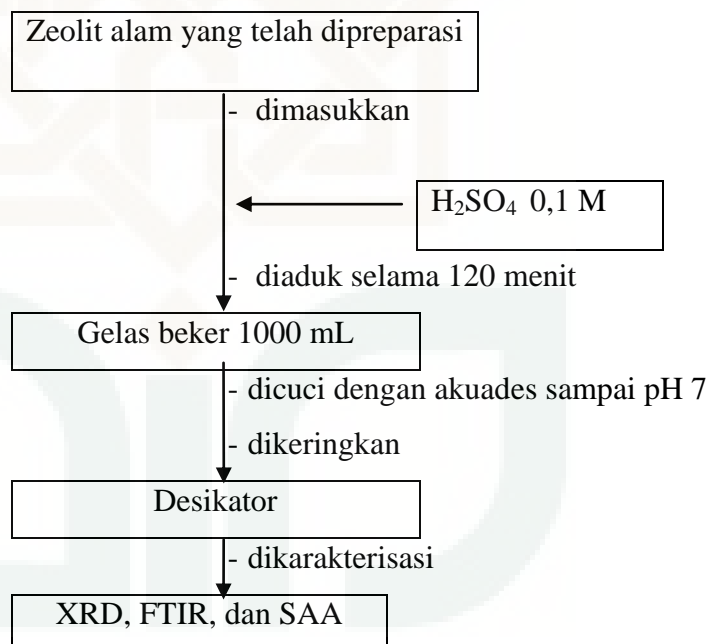
LAMPIRAN

Lampiran 1: Diagram Blok

1 Preparasi zeolit alam

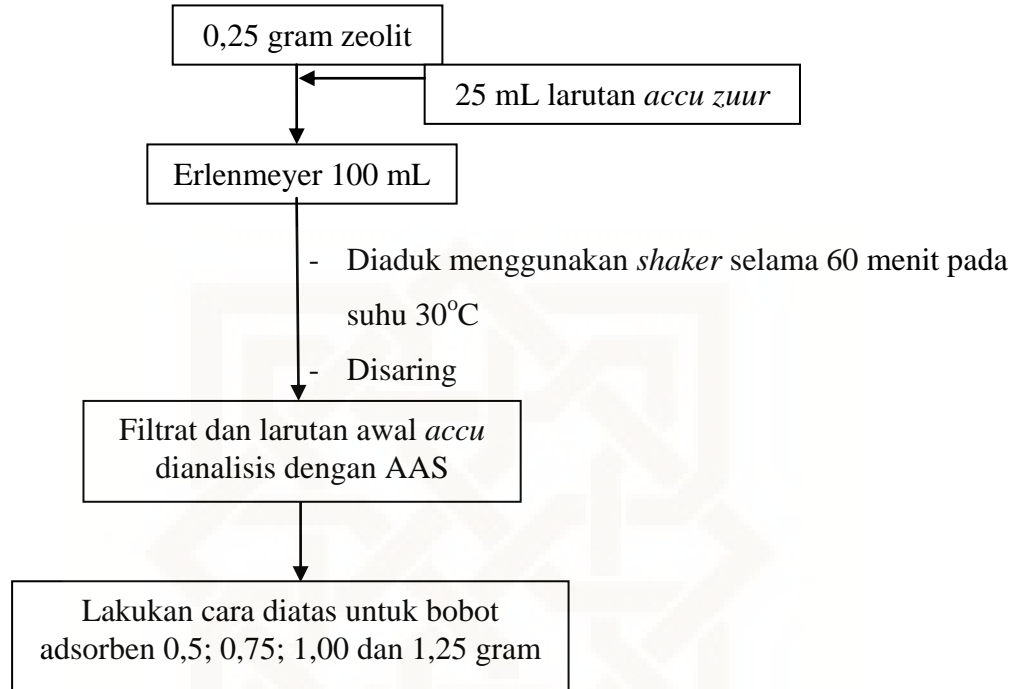


2 Pengaktifan kimia menggunakan asam sulfat (0,1 M)

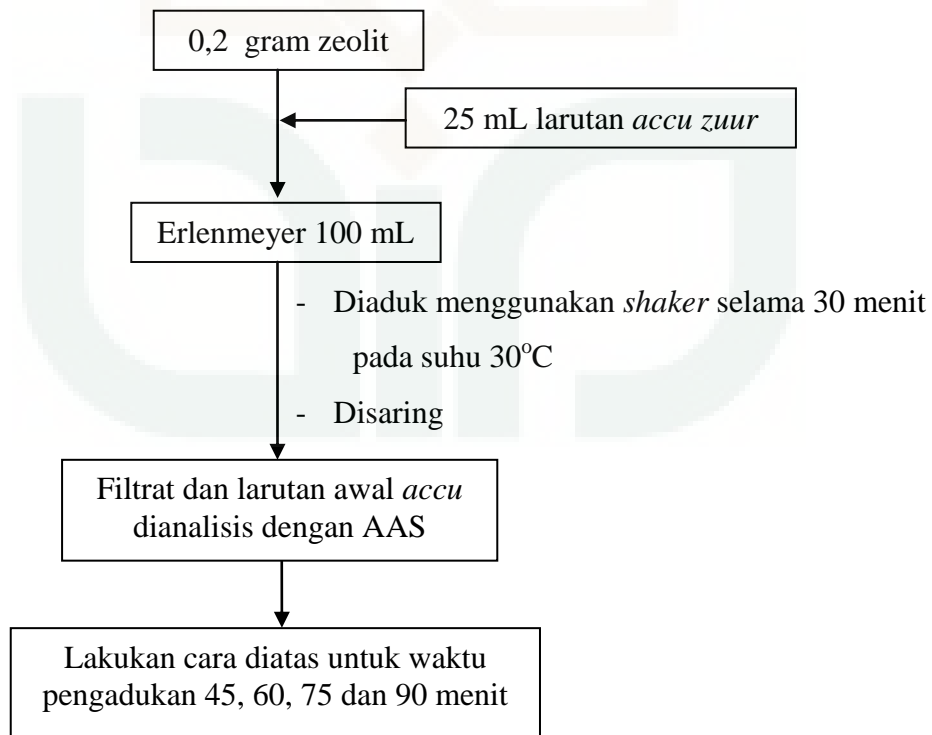


3 Proses Adsorpsi

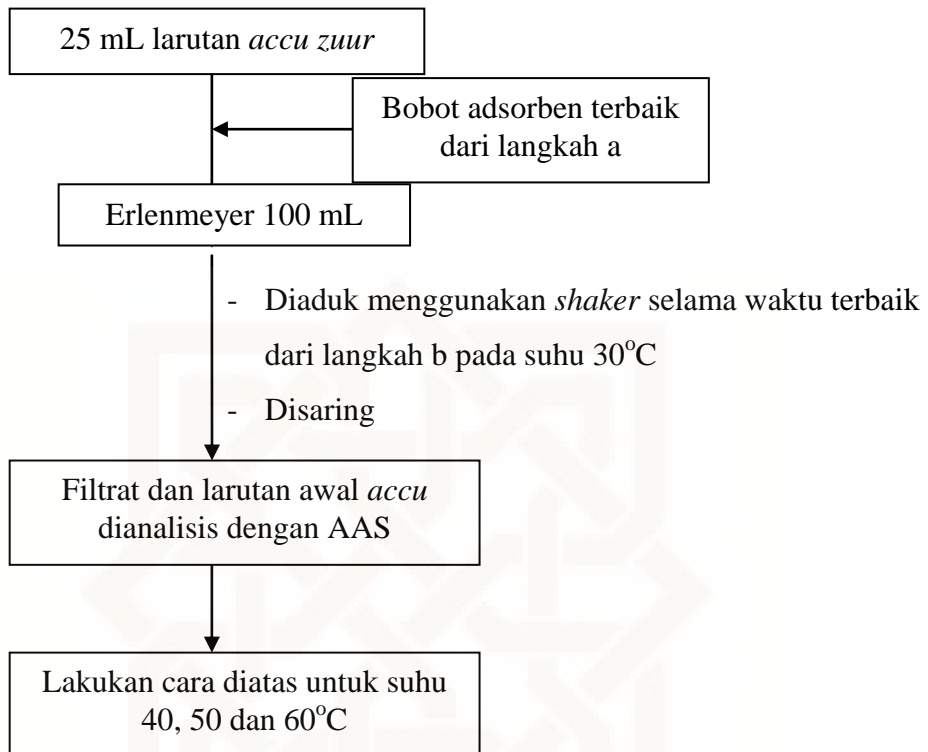
a. Variasi bobot adsorben



b. Variasi waktu pengadukan



c. Variasi suhu



Lampiran 2 : Perhitungan presentase zeolit

2θ	Interpretasi 2θ	I / I ₁	2θ	Interpretasi 2θ	I / I ₁
Zeolit alam			Zeolit teraktivasi asam		
9.86	Klinoptilolit	52	9.77	Mordenit	59
13.52	Mordenit	37	13.5	Mordenit	36
19.74	Mordenit	50	19.7	Mordenit	35
22.35	Klinoptilolit	81	22.4	Klinoptilolit	88
25.74	Klinoptilolit	100	25.7	Mordenit	100
26.38	Kuarsa	52	26.6	Kuarsa	71
27.84	Mordenit	37	27.7	Mordenit	65

Jumlah I / I₁ zeolit alam = 409

- % klinoptilolit

$$\text{Kadar klinoptilolit} = \frac{143}{409} \times 100 \% = 56,97 \%$$

- % modernite

$$\text{Kadar modernit} = \frac{124}{409} \times 100 \% = 30,32 \%$$

- % kuarsa

$$\text{Kadar kuarsa} = \frac{52}{409} \times 100 \% = 12,71 \%$$

Jumlah I / I₁ zeolit teraktivasi asam = 454

- % klinoptilolit

$$\text{Kadar klinoptilolit} = \frac{88}{454} \times 100 \% = 19,38 \%$$

- % modernit

$$\text{Kadar modernit} = \frac{295}{454} \times 100 \% = 64,98 \%$$

- % kuarsa

$$\text{Kadar kuarsa} = \frac{71}{454} \times 100 \% = 15,64 \%$$

Lampiran 3 : Perhitungan distribusi pori

Data luas pori berdasarkan dari ukuran pori

	Mikropori (m ²)	Mesopori (m ²)	Makropori (m ²)
Zeolit alam	5,346	19,620	19,830
Zeolit teraktivasi asam	3,750	15,200	15,500

1. Zeolit alam

Jumlah luas pori : 19,830

➤ % mikropori

$$\text{kadar mikropori} = \frac{5,346}{19,830} \times 100 \% = 26,96 \%$$

➤ % mesopori

$$\text{kadar mesopori} = \frac{14,274}{19,830} \times 100 \% = 71,98 \%$$

➤ % makropori

$$\text{kadar makropori} = \frac{0,21}{19,830} \times 100 \% = 1,06 \%$$

2. Zeolit teraktivasi asam

Jumlah luas pori = 15,500

➤ % mikropori

$$\text{kadar mikropori} = \frac{3,750}{15,500} \times 100 \% = 24,29 \%$$

➤ % mesopori

$$\text{kadar mesopori} = \frac{11,45}{15,500} \times 100 \% = 73,87 \%$$

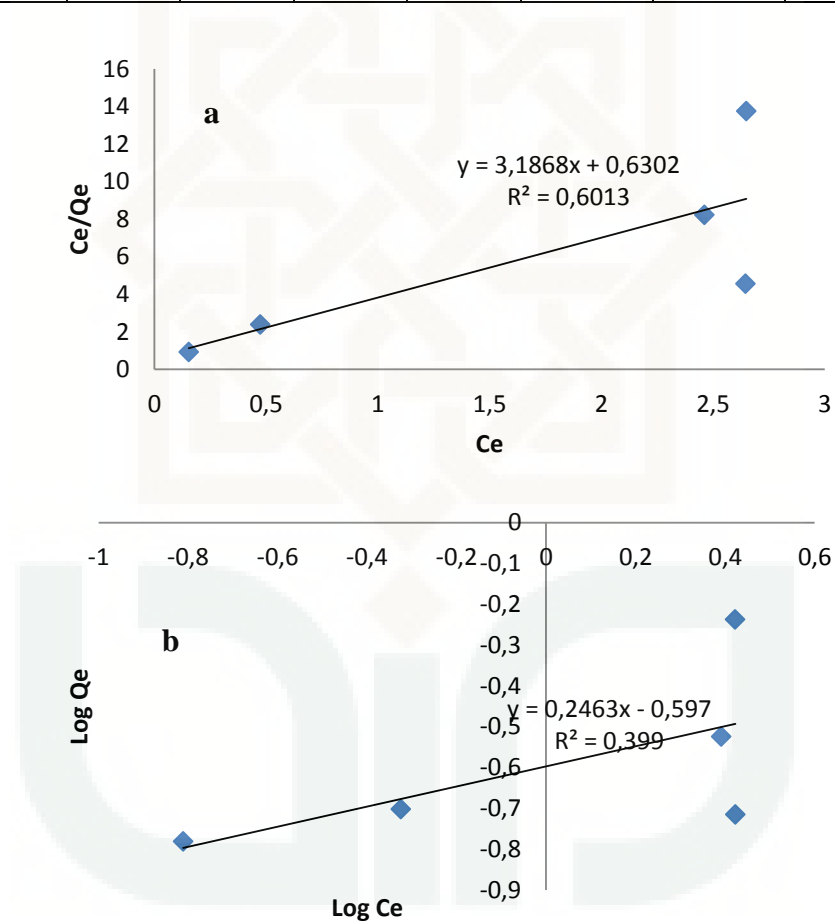
➤ % makropori

$$\text{kadar makropori} = \frac{0,300}{15,500} \times 100 \% = 1,94 \%$$

Lampiran 4 : Data adsorpsi zeolit alam pada *accu* Incoe

a. Variasi bobot adsorben

Bobot adsorben (gram)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Ct (ppm)	%E	Qe (mg g ⁻¹)	Ce/Qe (gr L ⁻¹)	log Ce	log Qe
0.2505	8.446	2.65	5.80	68.68	0.58	4.57	0.42	-0.24
0.5006	8.446	2.46	5.99	70.86	0.30	8.23	0.39	-0.52
0.752	8.446	2.65	5.80	68.64	0.19	13.74	0.42	-0.71
1.0037	8.446	0.47	7.97	94.39	0.20	2.39	-0.32	-0.70
1.252	8.446	0.15	8.29	98.17	0.17	0.93	-0.81	-0.78



Gambar 1 Grafik isoterm adsorpsi (a) Langmuir, (b) Freundlich untuk *accu* Incoe dengan zeolit alam

❖ Langmuir dari Incoe zeolit alam

$$Y = 3,186 x + 0,630$$

$$\frac{Ce}{Qe} = \frac{1}{Qm} Ce + \frac{1}{QmK}$$

$$\triangleright \frac{1}{Q_m} = 3,186$$

$$Q_m = \frac{1}{3,186}$$

$$Q_m = 0,3139$$

$$\triangleright \frac{1}{Q_m K} = 0,630$$

$$\frac{1}{Q_m} \times \frac{1}{K} = 0,630$$

$$3,186 \times \frac{1}{K} = 0,630$$

$$K = \frac{3,186}{0,630}$$

$$K = 5,0571$$

❖ Freundlich dari Incoe zeolit alam

$$Y = 0,246 x - 0,597$$

$$\log Q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f$$

$$\triangleright \frac{1}{n} = 0,246$$

$$n = \frac{1}{0,246}$$

$$n = 4,0650$$

$$\triangleright \text{Log } K_f = -0,597$$

$$K_f = 10^{-0,597} = 0,2529$$

b. Variasi waktu pengadukan

Waktu (menit)	Bobot adsorben (gram)	Co (ppm)	Ct (ppm)	V (mL)	Qe (mg g ⁻¹)	Qt (mg g ⁻¹)	ln (Qe-Qt)	t/Qt
30	0,2018	8,446	2,67	25	0,31	0,72	-0,91	41,90
45	0,2009	8,446	2,39	25	0,31	0,75	-0,82	59,67
60	0,2001	8,446	2,11	25	0,31	0,79	-0,74	75,78
75	0,2018	8,446	2,40	25	0,31	0,75	-0,83	100,12
90	0,2021	8,446	2,28	25	0,31	0,76	-0,80	117,96

❖ Pseudo satu Incoe dengan zeolit alam

$$Y = 0,001 x - 0,904$$

$$\ln (Q_e - Q_t) = \ln Q_e - kt$$

$$\rightarrow K = -0,001$$

$$\rightarrow \ln Q_e = -0,904$$

$$Q_e = 0,4049$$

❖ Pseudo dua Incoe dengan zeolit alam

$$Y = 1,283 x + 2,066$$

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{Q_e} t + \frac{1}{Q_e^2 K}$$

$$\rightarrow \frac{1}{Q_e} = 1,283$$

$$Q_e = \frac{1}{1,283} = 0,7794$$

$$\rightarrow k = \frac{1}{Q_e^2 K}$$

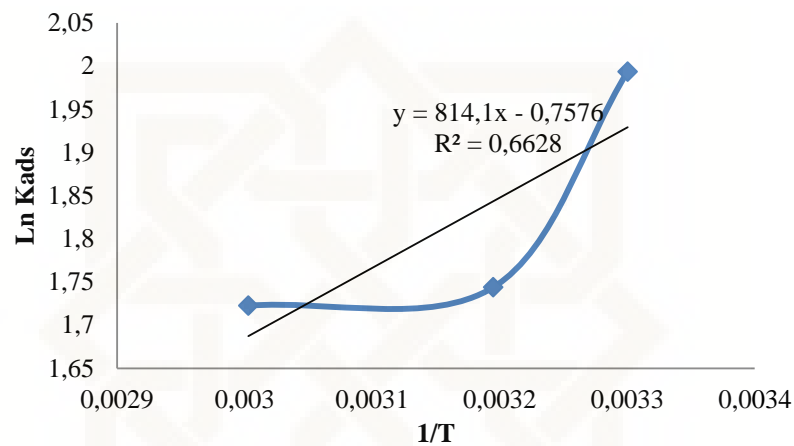
$$k = \frac{1}{Q_e^2} \times \frac{1}{2,066}$$

$$k = \frac{1}{0,7794^2} \times \frac{1}{2,066}$$

$$k = \frac{1}{0,6072} \times \frac{1}{2,066} = 0,7972$$

c. Variasi suhu

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Ct (ppm)	Qe	T (K)	1/T (K ⁻¹)	Kads	ln Kads
30	60	8.446	1.08	7.36	0.15	303	0.0033	7.34	1.99
40	60	8.446	0.87	7.58	0.15	313	0.0032	5.72	1.74
50	60	8.446	1.61	6.84	0.14	323	0.0031	11.79	2.47
60	60	8.446	0.85	7.60	0.15	333	0.0030	5.60	1.72



Gambar 2 Grafik termodinamika Incoe dengan zeolit alam

❖ Incoe ZA

$$y = 814,1x - 0,7576$$

$$R^2 = 0,6628$$

$$\ln Kads = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

$$\checkmark \Delta S^\circ / R = -0,7576$$

$$\Delta S^\circ = -0,7576 \times R$$

$$\Delta S^\circ = -0,7576 \times 8,3143 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta S^\circ = -6,29891368 \text{ J.K/mol}$$

$$\Delta S^\circ = -0,00629891368 \text{ kJ.K/mol}$$

$$\checkmark -\Delta H^\circ / R = 814,1$$

$$-\Delta H^\circ = 814,1 \times R$$

$$-\Delta H^\circ = 814,1 \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta H^\circ = -6768,67163 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ = -6,76867163 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}\checkmark \Delta G^\circ(303\text{K}) &= \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \\ &= -6768,67163 - (303 \times -6,29891368) \\ &= -6768,67163 + 1908,57084504 \\ &= -4860,10078496 \text{ J/mol} \\ &= -4,86010078496 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ(313\text{K}) = -4,797111648 \text{ kJ/mol}$$

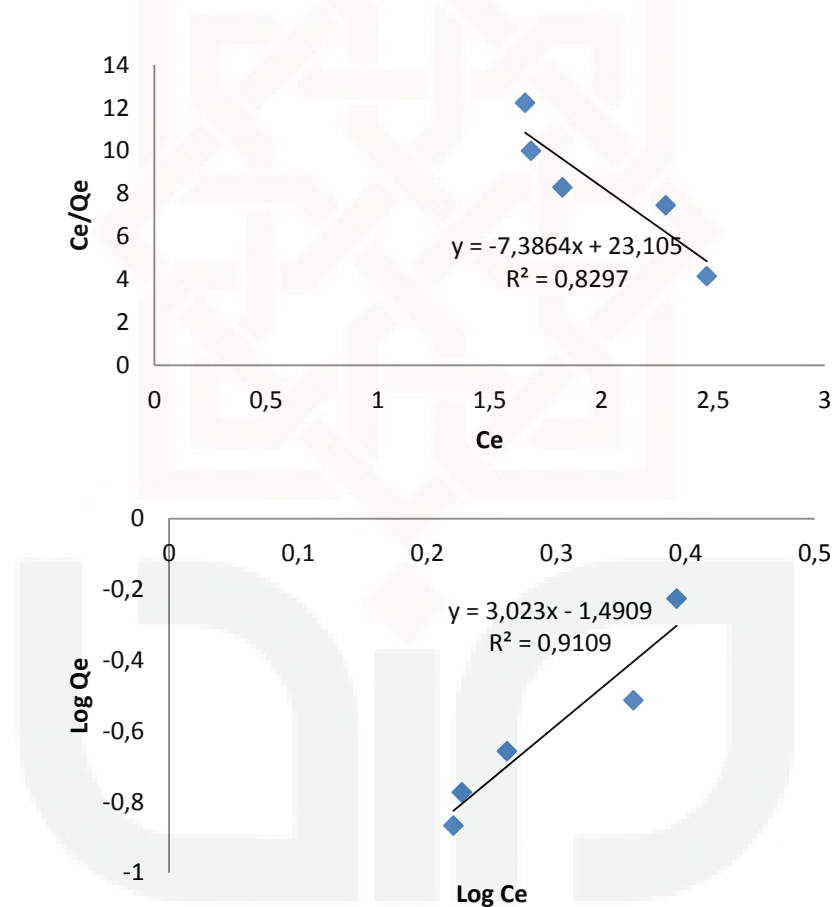
$$\checkmark \Delta G^\circ(323\text{K}) = -4,734122511 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ(333\text{K}) = -4,67113375 \text{ kJ/mol}$$

Lampiran 5 : Data adsorpsi zeolit teraktivasi asam pada *accu* Incoe

a. Variasi bobot adsorben

Bobot adsorben (gram)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Ct (ppm)	%E	Qe (mg g ⁻¹)	Ce/Qe (gr L ⁻¹)	log Ce	log Qe
0.2513	8.446	2.47	5.97	70.73	0.59	4.16	0.39	-0.23
0.5016	8.446	2.29	6.16	72.90	0.31	7.46	0.36	-0.51
0.7514	8.446	1.83	6.62	78.37	0.22	8.30	0.26	-0.66
1.0021	8.446	1.69	6.76	80.04	0.17	9.99	0.23	-0.77
1.2505	8.446	1.66	6.79	80.35	0.14	12.24	0.22	-0.87



Gambar 3 Grafik isoterm adsorpsi (a) Langmuir, (b) Freundlich untuk *accu* Incoe dengan zeolit teraktivasi asam

❖ Langmuir dari Incoe zeolit teraktivasi asam

$$Y = -7,386x + 23,10$$

$$\frac{Ce}{Qe} = \frac{1}{Qm} Ce + \frac{1}{QmK}$$

$$\text{➤ } Q_m = -0,1354$$

$$\text{➤ } K = -0,3179$$

❖ Freundlich dari Incoe zeolit alam

$$Y = 3,023x + 1,490$$

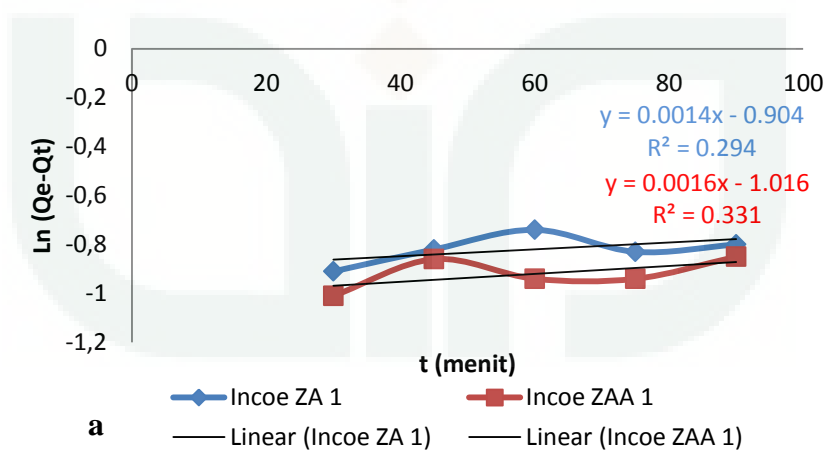
$$\log Q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f$$

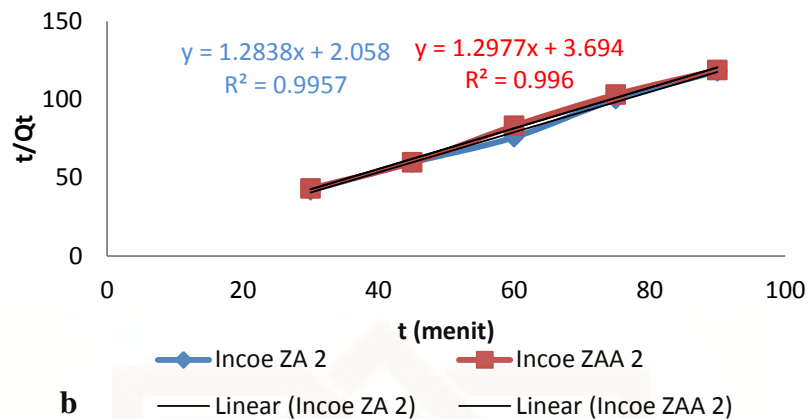
$$\text{➤ } n = 0,3308$$

$$\text{➤ } K_f = 0,0323$$

b. Variasi waktu pengadukan

Waktu (menit)	Bobot adsorben (gram)	Co (ppm)	Ct (ppm)	V (mL)	Qe (mg g ⁻¹)	Qt (mg g ⁻¹)	ln (Qe-Qt)	t/Qt
30	0.202	8.446	2.82	25	0.33	0.70	-1.01	43.10
45	0.2025	8.446	2.35	25	0.33	0.75	-0.86	59.76
60	0.2027	8.446	2.59	25	0.33	0.72	-0.94	83.08
75	0.2038	8.446	2.56	25	0.33	0.72	-0.94	103.86
90	0.204	8.446	2.26	25	0.33	0.76	-0.85	118.77





Gambar 4 Grafik (a) kinetika pseudo satu, (b) kinetika pseudo dua untuk adsorpsi ion Pb^{2+} oleh zeolit pada *accu* Incoe

❖ Pseudo satu Incoe dengan zeolit teraktivasi asam

$$Y = 0,001x + 1,014$$

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - kt$$

➤ $K = -0,001$

➤ $Q_e = 0,3628$

❖ Pseudo dua Incoe dengan zeolit alam

$$Y = 1,302x + 3,545$$

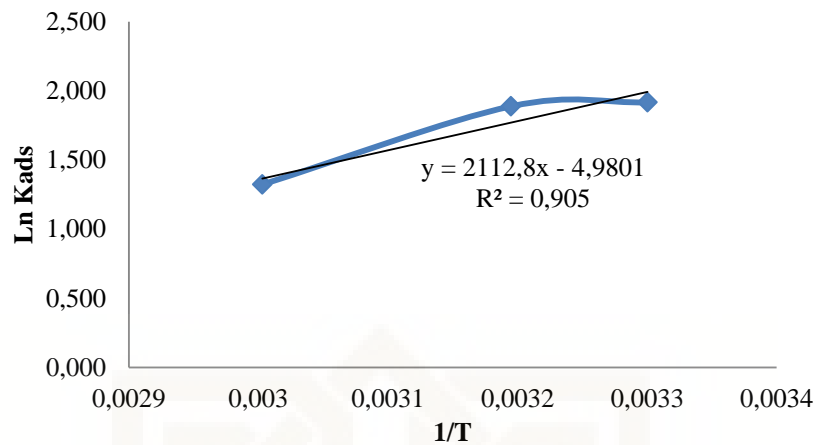
$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{Q_e} t + \frac{1}{Q_e^2 K}$$

➤ $Q_e = 0,7681$

➤ $K = 0,4782$

c. Variasi suhu

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Ct (ppm)	Qe (mg g ⁻¹)	T (K)	1/T (K ⁻¹)	Kads	ln Kads
30	90	8.446	1.01	7.43	0.15	303	0.0033	6.80	1.92
40	90	8.446	0.98	7.46	0.15	313	0.0032	6.60	1.89
50	90	8.446	1.40	7.04	0.15	323	0.0031	9.97	2.30
60	90	8.446	0.59	7.86	0.15	333	0.0030	3.75	1.32



Gambar 5 Grafik termodinamika Incoe dengan zeolit alam

❖ Incoe ZAA

$$y = 2112,8x - 4,9801 \quad R^2 = 0.905$$

$$\ln Kads = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

$$\checkmark \Delta S^\circ / R = -4,9801$$

$$\Delta S^\circ = -4,9801 \times R$$

$$\Delta S^\circ = -4,9801 \times 8,3143 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta S^\circ = -41,40604543 \text{ J.K/mol}$$

$$\Delta S^\circ = -0,04140604543 \text{ kJ.K/mol}$$

$$\checkmark -\Delta H^\circ / R = 2112,8$$

$$-\Delta H^\circ = 2112,8 \times R$$

$$-\Delta H^\circ = 2112,8 \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta H^\circ = -17566,45304 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ = -17,56645304 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (313\text{K}) = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$= -17566,45304 - (313 \times -41,40604543)$$

$$= -17566,45304 + 12546,03176529$$

$$= -5020,42127471 \text{ J/mol}$$

$$= -5,02042127471 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (313\text{K}) = -4,60636082 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (323\text{K}) = -4,19230037 \text{ kJ/mol}$$

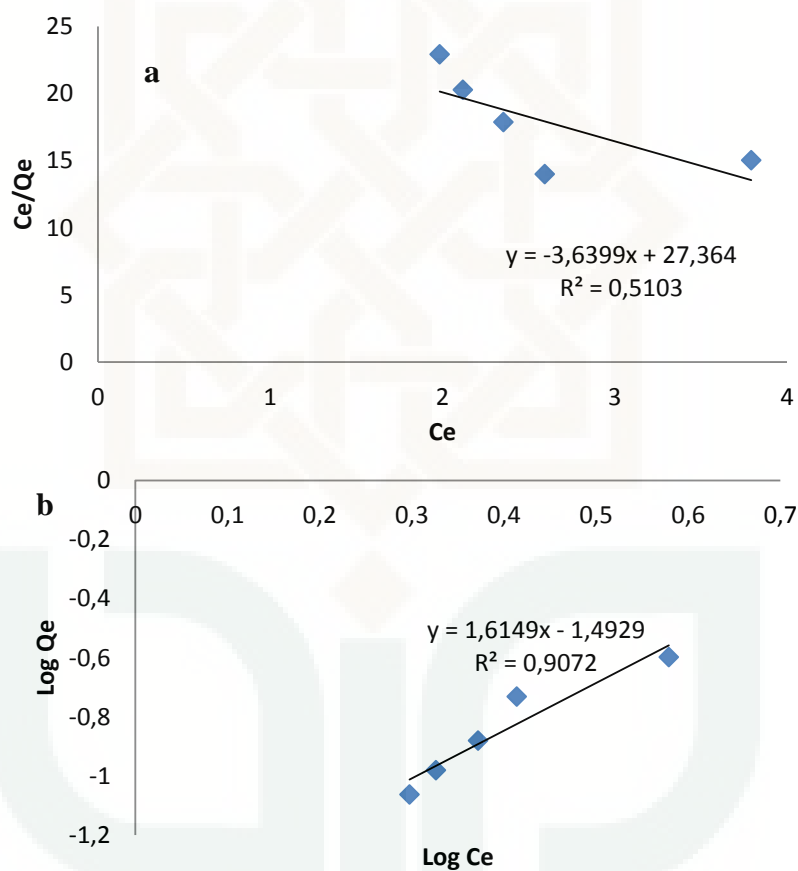
$$\checkmark \Delta G^\circ (333\text{K}) = -3,77823991 \text{ kJ/mol}$$



Lampiran 6 : Data adsorpsi zeolit alam pada *accu* Gstar

a. Variasi bobot adsorben

Bobot adsorben	Co (ppm)	Ct (ppm)	Ce (ppm)	%E	Qe	Ce/Qe	log Ce	log Qe
0.2506	6.323	3.79	2.53	40.01	0.25	15.03	0.58	-0.60
0.5026	6.323	2.59	3.73	58.97	0.18	13.98	0.41	-0.73
0.7533	6.323	2.35	3.97	62.77	0.13	17.87	0.37	-0.88
1.0055	6.323	2.12	4.20	66.49	0.10	20.27	0.33	-0.98
1.2527	6.323	1.98	4.34	68.62	0.09	22.91	0.30	-1.06



Gambar 6 Grafik isoterm adsorpsi (a) Langmuir, (b) Freundlich untuk *accu* Gstar dengan zeolit alam

❖ Langmuir dari Gstar zeolit alam

$$Y = -3,639x + 27,36$$

$$\frac{Ce}{Qe} = \frac{1}{Qm} Ce + \frac{1}{QmK}$$

$$\triangleright Q_m = -0,2748$$

$$K = -0,1330$$

❖ Freundlich dari Gstar zeolit alam

$$Y = 1,614x - 1,492$$

$$\log Q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f$$

$$\triangleright n = 0,6196$$

$$\triangleright K_f = 0,0322$$

b. Variasi waktu pengadukan

Waktu (menit)	Bobot adsorben (gram)	Co (ppm)	Ct (ppm)	V (mL)	Qe (mg/g)	Qt	ln (Qe-Qt)	t/Qt
30	0.2008	6.323	3.44	25	0.62	0.36	-1.35	83.46
45	0.2004	6.323	3.91	25	0.62	0.30	-1.14	149.55
60	0.2006	6.323	3.87	25	0.62	0.31	-1.16	196.11
75	0.2019	6.323	3.65	25	0.62	0.33	-1.24	226.60
90	0.2019	6.323	4.09	25	0.62	0.28	-1.07	325.50

❖ Pseudo satu Gstar dengan zeolit alam

$$Y = 0,003x - 1,374$$

$$\ln (Q_e - Q_t) = \ln Q_e - kt$$

$$\triangleright K = -0,003$$

$$\triangleright Q_e = 0,2531$$

❖ Pseudo dua Gstar dengan zeolit alam

$$Y = 3,740x - 2820$$

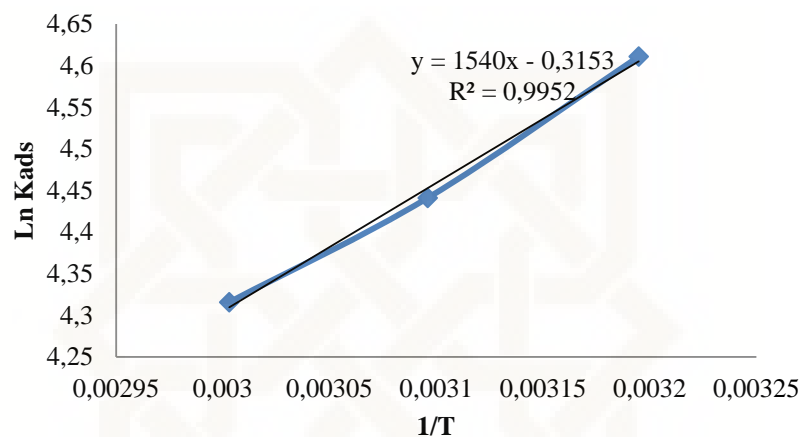
$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{Q_e} t + \frac{1}{Q_e^2 K}$$

$$\triangleright Q_e = 0,2674$$

$$K = -0,4959$$

c. Variasi suhu

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Ct (ppm)	Qe (mg g ⁻¹)	T (K)	1/T (K ⁻¹)	Kads	ln Kads
30	30	6.323	4.16	2.16	0.04	303	0.0033	96.30	4.57
40	30	6.323	4.22	2.10	0.04	313	0.0032	100.56	4.61
50	30	6.323	3.98	2.35	0.05	323	0.0031	84.85	4.44
60	30	6.323	3.79	2.54	0.05	333	0.0030	74.85	4.31



Gambar 7 Grafik termodinamika Gstar dengan zeolit alam

❖ Gstar ZA

$$y = 1540x - 0,3153 \quad R^2 = 0,9952$$

$$\ln Kads = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

$$\checkmark \Delta S^\circ / R = -0,3153$$

$$\Delta S^\circ = -0,3153 \times R$$

$$\Delta S^\circ = -0,3153 \times 8,3143 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta S^\circ = -2,62149879 \text{ J.K/mol}$$

$$\Delta S^\circ = -0,00262149879 \text{ kJ.K/mol}$$

$$\checkmark -\Delta H^\circ / R = 1540$$

$$-\Delta H^\circ = 1540 \times R$$

$$-\Delta H^\circ = 1540 \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta H^\circ = -12840,022 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ = -12,840022 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}\checkmark \Delta G^\circ (313\text{K}) &= \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \\ &= -12840,022 - (313 \times -2,62149879) \\ &= -12840,022 + 794,31413337 \\ &= -12009,70786663 \text{ J/mol} \\ &= -12,00970786663 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (313\text{K}) = -11,98349288 \text{ kJ/mol}$$

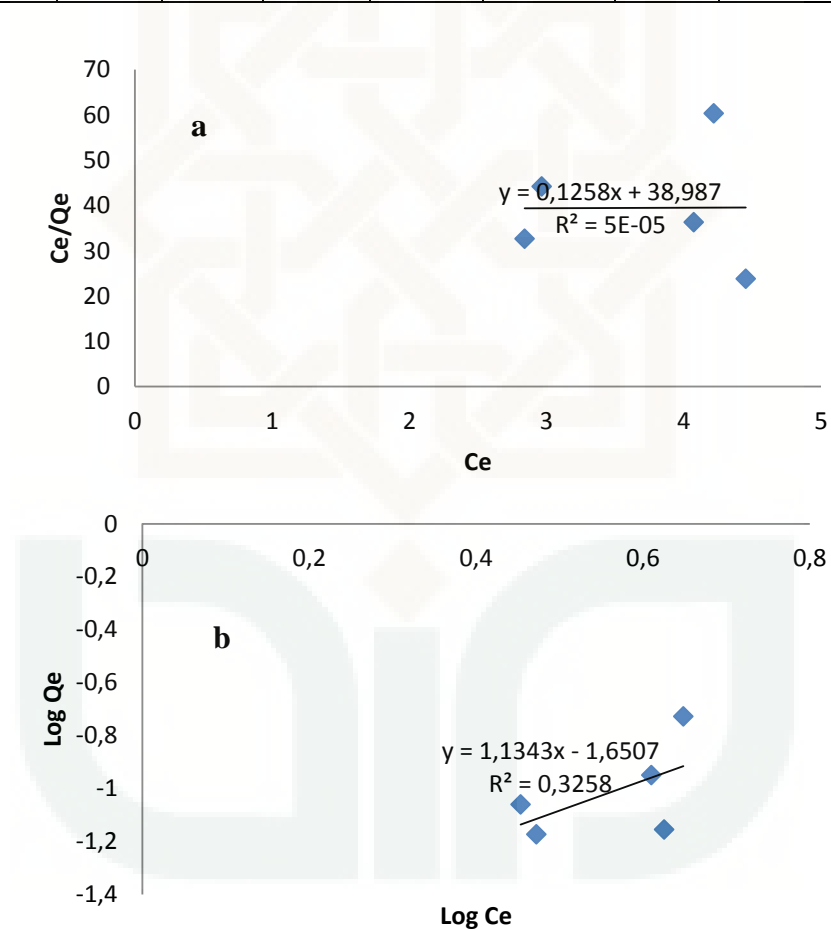
$$\checkmark \Delta G^\circ (323\text{K}) = -11,95727789 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (333\text{K}) = -11,9310629 \text{ kJ/mol}$$

Lampiran 7 : Data adsorpsi zeolit teraktivasi asam pada *accu* Gstar

a. Variasi bobot adsorben

Bobot adsorben (gram)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Ct (ppm)	%E	Qe (mg g ⁻¹)	Ce/Qe	log Ce	log Qe
0.2503	6.323	4.45	1.87	29.59	0.19	23.82	0.65	-0.73
0.5012	6.323	4.07	2.25	35.57	0.11	36.32	0.61	-0.95
0.7511	6.323	4.22	2.10	33.26	0.07	60.29	0.62	-1.15
1.0005	6.323	2.84	3.48	55.08	0.09	32.63	0.45	-1.06
1.2509	6.323	2.97	3.36	53.09	0.07	44.21	0.47	-1.17



Gambar 8 Grafik isoterm adsorpsi (a) Langmuir, (b) Freundlich untuk *accu* Gstar dengan zeolit teraktivasi asam

❖ Langmuir dari Gstar zeolit teraktivasi asam

$$Y = 0,125x + 38,98$$

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} C_e + \frac{1}{Q_m K}$$

$$\rightarrow Q_m = 8$$

$$k = 0,0032$$

❖ Freundlich dari Gstar zeolit teraktivasi asam

$$Y = 1,134x - 1,650$$

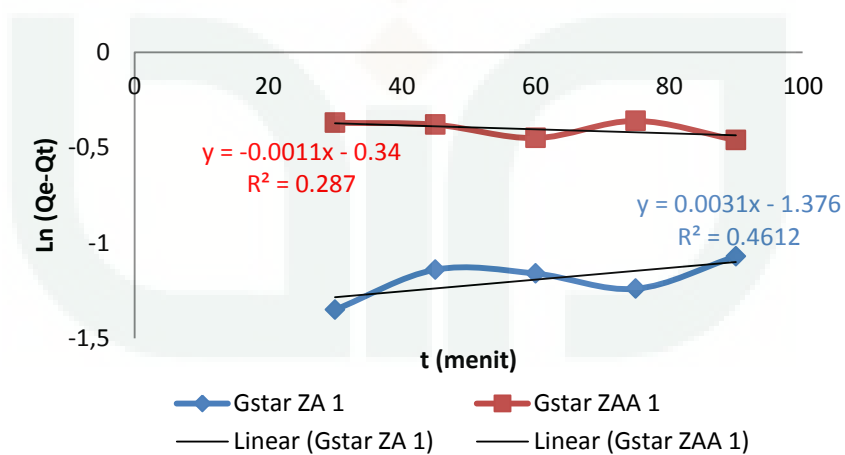
$$\log Q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f$$

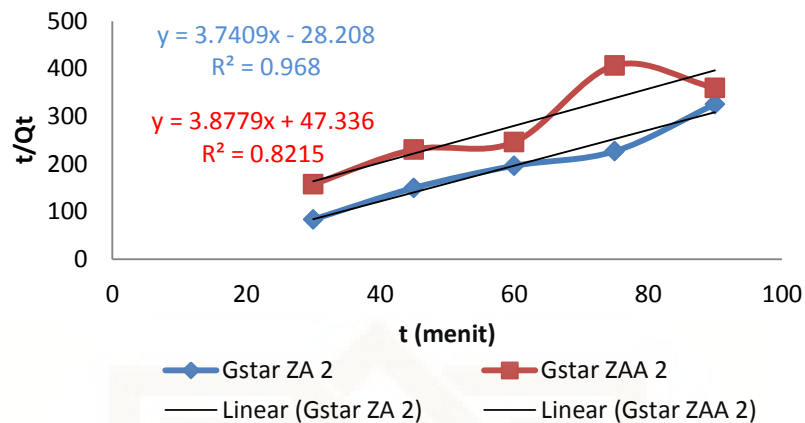
$$\rightarrow n = 0,8818$$

$$\rightarrow K_f = 0,0224$$

b. Variasi waktu pengadukan

Waktu (menit)	Bobot adsorben (gram)	Co (ppm)	Ct (ppm)	V (mL)	Qe (mg g ⁻¹)	Qt (mg g ⁻¹)	ln (Qe-Qt)	t/Qt
30	0.2041	6.323	4.77	25	0.88	0.19	-0.37	157.28
45	0.2047	6.323	4.72	25	0.88	0.19	-0.38	230.22
60	0.2049	6.323	4.32	25	0.88	0.24	-0.45	245.82
75	0.2057	6.323	4.81	25	0.88	0.18	-0.36	406.98
90	0.2059	6.323	4.26	25	0.88	0.25	-0.46	359.74





Gambar 9 Grafik (a) kinetika pseudo satu, (b) kinetika pseudo dua untuk adsorpsi ion Pb^{2+} oleh zeolit pada *accu* Gstar

❖ Pseudo satu Gstar dengan zeolit teraktivasi asam

$$Y = -0,001x - 0,337$$

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - kt$$

➤ $K = 0,001$

➤ $Q_e = 0,7139$

❖ Pseudo dua Gstar dengan zeolit teraktivasi asam

$$Y = 3,877x + 47,33$$

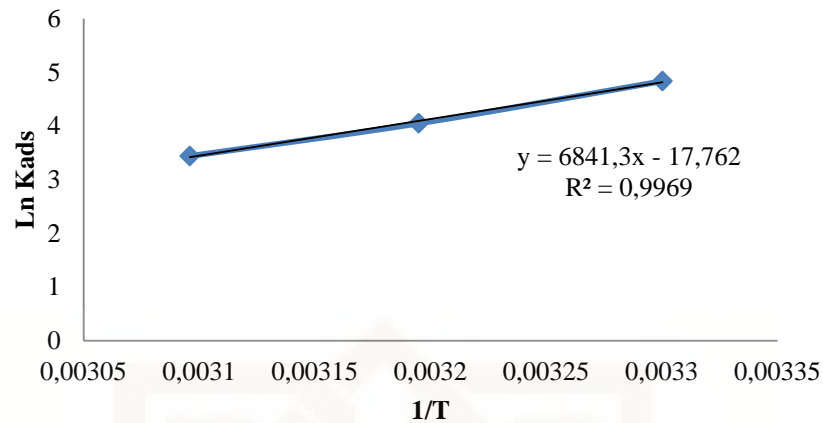
$$\frac{t}{Qt} = \frac{1}{Q_e}t + \frac{1}{Q_e^2 K}$$

➤ $Q_e = 0,2579$

➤ $K = 0,3177$

c. Variasi suhu

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Ct (ppm)	Qe (mg g ⁻¹)	T (K)	1/T (K ⁻¹)	Kads	ln Kads
30	90	6.323	4.80	1.52	0.04	303	0.0033	126.26	4.84
40	90	6.323	3.73	2.60	0.06	313	0.0032	57.42	4.05
50	90	6.323	2.77	3.55	0.09	323	0.0031	31.25	3.44
60	90	6.323	3.49	2.84	0.07	333	0.0030	49.32	3.90



Gambar 10 Grafik termodinamika Gstar dengan zeolit teraktivasi asam

❖ Gstar ZAA

$$y = 6841,3x - 17,762 \quad R^2 = 0,9969$$

$$\ln Kads = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

$$\checkmark \Delta S^\circ / R = -17,762$$

$$\Delta S^\circ = -17,762 \times R$$

$$\Delta S^\circ = -17,762 \times 8,3143 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta S^\circ = -147,6785966 \text{ J.K/mol}$$

$$\Delta S^\circ = -0,1476785966 \text{ kJ.K/mol}$$

$$\checkmark -\Delta H^\circ / R = 6841,3$$

$$-\Delta H^\circ = 6841,3 \times R$$

$$-\Delta H^\circ = 6841,3 \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta H^\circ = -56880,62059 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ = -56,88062059 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (313\text{K}) = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$= -56880,62059 - (313 \times -147,6785966)$$

$$= -56880,62059 + 44746,6147698$$

$$= -12134,0058202 \text{ J/mol}$$

$$= -12,1340058202 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (313\text{K}) = -10,65721985 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (323\text{K}) = -9,18043385 \text{ kJ/mol}$$

$$\checkmark \Delta G^\circ (333\text{K}) = -7,70364792 \text{ kJ/mol}$$

