



KARAKTERISASI ZEOLIT ALAMI TERMODIFIKASI ASAM



HERY JON



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2001**

Hias Cover: Ilustrasi: Lingkungan Hidup
1. Diambil sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.
2. Diperoleh menggunakan dan dipersebarluaskan sebagai jasa edukasi hanya saja tidak diperjualbelikan atau dipersebarluaskan.
3. Diperoleh sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.
4. Diperoleh sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.
5. Diperoleh sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.
6. Diperoleh sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.
7. Diperoleh sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.
8. Diperoleh sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.
9. Diperoleh sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.
10. Diperoleh sebagai sumber atau sumber yang lain, dan tidak diperjualbelikan dan dipersebarluaskan.

RINGKASAN

ERY JON. Karakterisasi Zeolit Alami Termodifikasi Asam (*Characterization of Acid Modified natural Zeolite*). Dibimbing oleh HENDRA ADIJUWANA, CHAIRIL ANWAR, dan ZAINAL ALIM AS'UD.

Dewasa ini kegunaan zeolit alami maupun sintetik terus dikaji. Karena nilai gunanya tersebut banyak investor yang melirik ke arah ini. Efeknya, zeolit alami menjadi sumber daya alam mineral yang bernilai ekonomis cukup tinggi. Namun, zeolit alami mempunyai aktivitas dan selektivitas yang kurang baik dalam perengkahan katalitik jika dibandingkan dengan zeolit sintetik. Jadi untuk mendapatkan kegunaan yang optimal dari zeolit alami tersebut maka zeolit alami harus dimodifikasi terlebih dahulu sebelum diaplikasikan.

Penelitian ini memodifikasi zeolit alami asal Gunung Kidul dengan HCl 6 N dan kemudian mengkarakterisasinya. Zeolit alami berwarna hijau, diasumsikan bahwa ada sejumlah 'pengotor' yang terdapat dalam kristal zeolit tersebut. Setelah diperlakukan dengan HCl 6 N, zeolit hasil modifikasi berwarna putih. Perubahan warna ini sudah tentu diikuti oleh perubahan struktur dan komposisi. Analisis difraksi sinar-X menunjukkan bahwa zeolit alami mengandung mordenit (50-75%), clinoptilolit (10-30%), dan kuarsa α (1-30%). Setelah perlakuan, hanya terdiri atas mordenit (80-90%) dan kuarsa α (10-20%). Dari penelitian ini diperoleh fenomena bahwa derajat kristalinitas menurun pada zeolit terendam lama dalam larutan asam ($\text{pH} < 2$) dan pemanasan saat pencucian Cl⁻ dilakukan pada sistem terbuka. Fenomena ini didukung oleh analisis spektroskopi inframerah transformasi Fourier yang menunjukkan terdapatnya puncak yang melebar pada daerah $1000-1200 \text{ cm}^{-1}$. Analisis unsur menunjukkan bahwa zeolit alami dan zeolit termodifikasi asam mempunyai nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ total berturut-turut adalah 3,35 dan 5,09. Selain itu dari analisis unsur diperoleh informasi bahwa zeolit termodifikasi asam terjadi densitas atom meningkat dan volume pori mengecil.

Zeolit termodifikasi asam ini diharapkan dapat digunakan sebagai katalis pada proses perengkahan katalitik atau sebagai bahan antara dalam modifikasi lanjut menuju karakter yang dimiliki oleh zeolit ZSM-5.



KARAKTERISASI ZEOLIT ALAMI TERMODIFIKASI ASAM

HERY JON

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains

pada

Program Studi Kimia

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2001**



Judul : Karakterisasi Zeolit Alami Termodifikasi Asam

Nama : Hery Jon

IRP : G01496011

Menyetujui,

Hendra Adijuwana

Hendra Adijuwana, MST
Pembimbing I

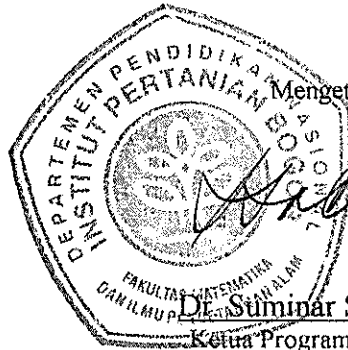
Chairil Anwar

Drs. Chairil Anwar, MS
Pembimbing II

Zainal Alim Mas'ud

Dr. Zainal Alim Mas'ud, DEA
Pembimbing III

Mengetahui,



Dr. Suminar S. Achmadi
Ketua Program Studi Kimia

Tanggal Lulus : 10 AUG 2001

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Lubuk Linggau, Sumatera Selatan pada tanggal 4 Agustus 1978 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, anak dari pasangan Taslim dan Suryani.

Tahun 1996 penulis lulus dari SMA Xaverius Lubuk Linggau dan pada tahun yang sama lulus seleksi masuk IPB melalui jalur Undangan Seleksi Masuk IPB (USMI) di Program Studi S₁ Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Penulis pada semester 7 memilih minat Kimia Anorganik.

Selama mengikuti perkuliahan penulis menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Dasar I pada tahun ajaran 1998/1999, Kimia Fisik II dan Kimia Fisik III pada tahun ajaran 1999/2000, Kimia Organik pada tahun ajaran 2000/2001, dan asisten responsi pada mata kuliah Kimia Organik pada tahun ajaran 2000/2001.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Sanghyang Adi Buddha, Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2001 ini ialah zeolit, dengan judul Karakterisasi zeolit Alami Termodifikasi Asam.

Terima kasih penulis ucapkan kepada berbagai pihak yang telah membantu penyelesaian karya ilmiah ini, antara lain Bapak Ir. Hendra Adijuwana, MST, Bapak Drs. Chairil Anwar, M.Si., dan Bapak Dr. Drs. Zainal Alim Mas'ud, DEA selaku pembimbing, serta Bapak Dr. Muhammad Hikam, DEA dari Program Pascasarjana *Material Sciences*, UI dan Ibu Dr. Suminar S. Achmadi yang telah banyak memberikan saran. Di samping itu penghargaan diberikan kepada Pak Anwir, Ibu Ambarwati, dan Ibu Cicit dari Laboratorium Analitik, Lemigas; Ibu Uci, Ibu Yus, Pak Herizal, Pak Ibrahim, Pak Lipto, Pak Kardi, dan Pak Tarjo dari Laboratorium Katalis dan Konversi, Lemigas; Pak Bermanto dari laboratorium XRD dan SEM, Lemigas; dan Pak Drs. M. Farid, M.Si., Pak Sabur, Ibu Yenni, dan Bapak Robiah dari Laboratorium Kimia Organik, IPB yang telah banyak membantu selama preparasi dan pengujian sampel. Tak lupa penulis juga berterima kasih kepada teman-teman yang telah berjuang bersama-sama dalam suka dan duka selama penelitian, yaitu Kru Ciliwung 2 (Pak Gunadi, Pak Aser, Askari, Yoga), Marcel, rekan-rekan se-Lab. Kimia Organik (Arif Budiman, Jayadi, Masduki, Sarengat, Desipso, Ali Santoso, Agus P., Agus S., Yan, dan Hendro), dan Kru Kimia-33 lainnya. Penghargaan mendalam penulis haturkan kepada Ayah, Ibu, Hendri, dan Herniwati atas segala doa dan kasih sayangannya.

Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat.

Bogor, Agustus 2001

Hery Jon

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
PENDAHULUAN	1
TINJAUAN PUSTAKA	1
Zeolit sebagai Tinjauan Umum	1
Identifikasi Zeolit	6
BAHAN DAN METODE	8
Bahan dan Alat	8
Pembuatan Larutan HCl 3 N dan 6 N	8
Modifikasi Asam dari Zeolit Alami	8
Karakterisasi Zeolit Alami Termodifikasi Asam	8
HASIL DAN PEMBAHASAN	10
Hasil Modifikasi	10
Analisis Difraksi Sinar-X	10
Analisis SEM	11
Analisis FTIR	11
Analisis Unsur	11
KESIMPULAN DAN SARAN	12
Kesimpulan	12
Saran	12
DAFTAR PUSTAKA	12
LAMPIRAN	14

a Hala cipu miter IPB University

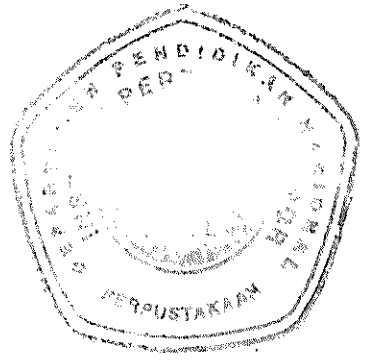
Hal Cipta Pustaka IPB University
 1. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 2. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 3. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 4. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 5. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 6. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 7. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 8. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 9. Dilakukan dengan cara manual atau digital
 10. Dilakukan dengan cara manual atau digital

DAFTAR TABEL

	Halaman
Puncak vibrasi FTIR dari zeolit	7
Puncak vibrasi FTIR dari mordenit	7
Luas puncak 18 ⁰ – 40 ⁰ , luas 18 ⁰ – 40 ⁰ terkoreksi, luas puncak total, dan derajat kristalinitas relatif dari contoh	11
Kadar oksida (b/b) dari ZEO-AWAL dan ZEO-T21	12

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Tetrahedral-tetrahedral SiO ₄ ⁴⁻ yang dihubungkan satu sama lain dengan atom O	2
Unit SBU zeolit (a) SBU sederhana: S4R, S6R, S8R, D4R, D6R, kompleks 4-1 (T ₅ O ₁₀), kompleks 5-1 (T ₈ O ₁₆), dan kompleks 4-4-1 (T ₁₀ O ₂₀) (b) SBU polihedral: α kubo-oktahedron terpancung (unit sodalit), β (oktahedron terpancung), D8R, D6R, γ (18-hedron), dan ξ (11-hedron)	2
Unit sodalit (a) model bola • = (Si atau Al) o = atom O dan (b) model garis	3
Model kerangka dari (a) zeolit A dan (b) zeolit faujasit	3
Ilustrasi penyaringan molekul oleh saluran zeolit	5
Pendekatan fase metastabil isothermal pada proses kristalisasi zeolit	6
Model aturan trapesoidal	9



Halaman muka
 Daftar Isi
 Daftar Tabel
 Daftar Gambar
 Bab 1
 Bab 2
 Bab 3
 Bab 4
 Bab 5
 Bab 6
 Bab 7
 Bab 8
 Bab 9
 Bab 10
 Bab 11
 Bab 12
 Bab 13
 Bab 14
 Bab 15
 Bab 16
 Bab 17
 Bab 18
 Bab 19
 Bab 20
 Bab 21
 Bab 22
 Bab 23
 Bab 24
 Bab 25
 Bab 26
 Bab 27
 Bab 28
 Bab 29
 Bab 30
 Bab 31
 Bab 32
 Bab 33
 Bab 34
 Bab 35
 Bab 36
 Bab 37
 Bab 38
 Bab 39
 Bab 40
 Bab 41
 Bab 42
 Bab 43
 Bab 44
 Bab 45
 Bab 46
 Bab 47
 Bab 48
 Bab 49
 Bab 50
 Bab 51
 Bab 52
 Bab 53
 Bab 54
 Bab 55
 Bab 56
 Bab 57
 Bab 58
 Bab 59
 Bab 60
 Bab 61
 Bab 62
 Bab 63
 Bab 64
 Bab 65
 Bab 66
 Bab 67
 Bab 68
 Bab 69
 Bab 70
 Bab 71
 Bab 72
 Bab 73
 Bab 74
 Bab 75
 Bab 76
 Bab 77
 Bab 78
 Bab 79
 Bab 80
 Bab 81
 Bab 82
 Bab 83
 Bab 84
 Bab 85
 Bab 86
 Bab 87
 Bab 88
 Bab 89
 Bab 90
 Bab 91
 Bab 92
 Bab 93
 Bab 94
 Bab 95
 Bab 96
 Bab 97
 Bab 98
 Bab 99
 Bab 100

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Zeolit termasuk kelompok tektosilikat	15
Komposisi kimia, <i>void volume</i> , parameter unit sel, dimensi saluran, rasio Si/Al, densitas, dan KTK (Kapasitas Tukar Kation) teoritis dari beberapa zeolit alami	16
Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-AWAL	17
Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-T1	18
Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-T2	19
Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-T21	20
Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-TP	21
Analisis kuantitatif difraktogram XRD dari semua sampel	22
Contoh hasil pembangkitan data dari *.udf	23
0. Difraktogram dari ZEO-AWAL	24
1. Difraktogram dari ZEO-T1	25
2. Difraktogram dari ZEO-T2	26
3. Difraktogram dari ZEO-T21	27
4. Difraktogram dari ZEO-TP	28
5. Contoh keluaran dari difraktometer	29
6. Contoh database dari JCPDS	30
7. Contoh database dari Atlas Zeolit	31
8. Keluaran FTIR dari ZEO-AWAL	32
9. Keluaran FTIR dari ZEO-T1	34
0. Keluaran FTIR dari ZEO-T2	36
1. Keluaran FTIR dari ZEO-T21	38
2. Keluaran FTIR dari ZEO-TP	40
3. Difraktogram dari ZSM-5	42

Halaman ini merupakan bagian dari karya seni yang dihasilkan oleh mahasiswa IPB University dan merupakan bagian dari koleksi seni yang dimiliki oleh IPB University. Hal ini merupakan bagian dari koleksi seni yang dimiliki oleh IPB University dan merupakan bagian dari koleksi seni yang dimiliki oleh IPB University.

PENDAHULUAN

Senyawa ini zeolit ZSM-5 (*Zeolite Socony Number 5*) hasil paten dari perusahaan

Oil sangat banyak digunakan untuk katalis. Hal ini terutama karena sifat kimianya dan sifat fisiknya yang unik. Sampai sekarang pun para peneliti masih aktif mempelajari keunikan dari zeolit ZSM-5. Zeolit ZSM-5 digunakan sebagai katalis pada pengolahan minyak bumi dan berbagai reaksi

minyak perusahaan minyak di Indonesia, memenuhi kebutuhan zeolit ZSM-5-nya, mengimpornya dari luar negeri dengan nilai sekitar US \$ 50 juta per tahun (Anwar, 1993). Untuk mengatasi ketergantungan itu maka dilakukan serangkaian penelitian untuk memanfaatkan zeolit alami yang banyak terdapat di Indonesia. Prinsip dari teknik ini adalah modifikasi zeolit alami dengan perlakuan asam langsung mengaplikasikannya sebagai katalis pada proses perengkahan dan jika ternyata katalitiknya belum optimum maka zeolit dimodifikasi asam ditata ulang kembali dengan mengacu ke bahan pembentuk zeolit ZSM-5. Hal ini sangat menguntungkan jika dibandingkan dengan mengimpornya.

Karena zeolit alami tersusun oleh bermacam-macam zat kimia yang kompleks maka senyawaan organik yang tidak diperlukan dalam proses perengkahan perlu dihilangkan terlebih dahulu, sehingga zeolit yang nantinya yang tertinggal hanyalah kerangka Si-Al dari zeolit alami. Untuk itu dicobakan metode demineralisasi (ekstraksi kerangka dalam larutan asam) untuk mengekstraksi logam-logam pengganggu yang terdapat dalam kerangka zeolit alami.

Penelitian ini bertujuan memperoleh informasi mengenai perubahan struktur dan komposisi dari zeolit alami yang termodifikasi asam setelah karakterisasi dengan difraksi sinar-X bubuk (*X-ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Micrograph*), FTIR (*Fourier Transform Infrared*), dan uji unsur dengan AAS.

Zeolit hasil modifikasi asam diharapkan nantinya dapat menggantikan zeolit ZSM-5 yang selama ini masih diimpor atau sebagai bahan baku dalam modifikasi lanjut menuju karakter yang dimiliki oleh zeolit ZSM-5. Indonesia mempunyai sumber zeolit alami yang melimpah. Jika semuanya itu dapat dimanfaatkan dengan cara tertentu maka hal ini dapat menjadi sumber

ekonomi negara dan mengurangi ketergantungan bangsa Indonesia terhadap ZSM-5 dari luar negeri.

Hipotesis dari penelitian ini adalah bahwa senyawaan kimia yang kompleks yang terdapat secara alami di dalam zeolit alami dapat dihilangkan dengan perlakuan asam.

TINJAUAN PUSTAKA

Zeolit sebagai Tinjauan Umum

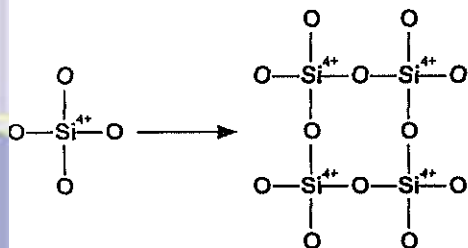
Definisi Zeolit

Zeolit adalah kristalin dari aluminosilikat alkali dan/atau alkali tanah yang terhidrasi, yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbuka yang dibangun oleh tetrahedral-tetrahedral SiO_4^{4-} dan AlO_4^{5-} dengan atom O sebagai penghubung antara atom Si dan atom Al membentuk rongga-rongga intrakristalin dan saluran-saluran yang teratur (Barrer, 1982; Dixon & Weed, 1989; Hamdan, 1992). Pada awal ditemukannya, zeolit hanya dikelompokkan berdasarkan kemampuannya yang dapat terhidrasi dan terdehidrasi secara reversibel dan memperkirakan beberapa kationnya dengan kation lain; keduanya tanpa membahas tentang perubahan struktur (Dixon & Weed, 1989).

Zeolit ditemukan pada tahun 1756 oleh *Cronstedt* ahli mineralogi Swedia yang menamakannya dari bahasa Yunani yaitu *zein* (mendidih) dan *lithos* (batu) yang berarti batu mendidih. Hal ini sesuai dengan fenomena yang diamatinya ketika bongkahan zeolit dimasukkan ke dalam air maka gelembung-gelembung udara keluar dari air (seperti ketika air mendidih) dan selanjutnya air menjadi panas (Dixon & Weed, 1989). Dari perusahaan HEPCO, Jepang (1998) diperoleh informasi bahwa proses hidrasi zeolit melepaskan kalor. Sampai dengan tahun 90-an, sekitar 50 jenis zeolit alami telah ditemukan, dan paling sedikit 150 spesies analog zeolit yang telah disintesis di laboratorium (Dixon & Weed, 1989). Sekarang jumlah tersebut terus bertambah.

Komposisi Zeolit

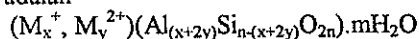
Seperti halnya mineral feldspar, kelompok SiO_2 , dan feldspathoid maka zeolit termasuk kelompok tektosilikat (Lampiran 1), yaitu mineral berbasis silikat yang hubungan tetrahedral SiO_4^{4-} -nya membangun pola tiga dimensi, yang semua atom O-nya dipakai bersama-sama dengan tetrahedral tetangganya (Gambar 1). Susunan



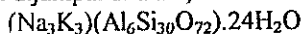
bar 1. Tetrahedral - tetrahedral SiO_4^{4-} yang dihubungkan satu sama lain dengan atom O.

but mengurangi nisbah O/Si dari 4:1 menjadi 3:1. Jika setiap tetrahedron terdiri dari Si sebagai kation maka muatan total kerangkanya akan negatif, seperti SiO_2 pada kuarsa. Dalam zeolit, Si^{4+} sebagian digantikan dengan Al^{3+} yang mengakibatkan muatan negatif pada kerangka. Muatan kerangka dinetralkan dengan kation kovalen dan/atau divalen, terutama Na^+ , K^+ , dan Mg^{2+} .

Formula umum dari zeolit (Dixon & Weed, 1982) adalah



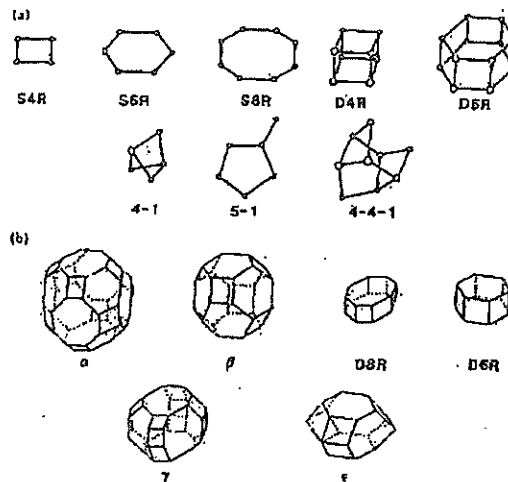
di mana M^{2+} berturut-turut adalah kation kovalen dan divalen. Kation-kation yang dapat ditukar dalam tanda kurung pertama adalah kation yang dapat-tukar (*exchangeable cations*) sedangkan yang kedua adalah kation struktural, termasuk kation struktural (penyusun dasar) karena muatannya sama dengan atom O menyusun kerangka zeolit. m adalah suatu bilangan tertentu yang khas untuk suatu zeolit. Dari rumus di atas dapat dilihat bahwa nisbah O/(Si+Al) adalah 2:1 dan muatan positif dari kation dapat-tukar harus sama dengan jumlah tetrahedral AlO_4^{5-} . Barrer (1982) mengatakan bahwa tidak pernah ada zeolit yang mempunyai atom Al lebih banyak daripada atom Si karena ikatan Al-O-Al secara termodinamika kurang disukai, jadi nisbah Al/Si ≥ 1 . Adapun formula dari unit sel zeolit, salah satu zeolit sedimen yang banyak dijumpai di alam, adalah



yang kadang-kadang ion Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , dan Mg^{2+} menggantikan dalam jumlah besar dalam zeolit menggantikan kation dapat-tukar, dan sejumlah kecil ion yang dapat menggantikan kedudukan Si atau

Struktur Zeolit

Kerangka tiga dimensi dari kuarsa dan zeolit padat dan tersusun rapat. Hal ini dapat



Gambar 2. Unit SBU zeolit (a) SBU sederhana: S4R, S6R, S8R, D4R, D6R, kompleks 4-1 (T_5O_{10}), kompleks 5-1 (T_8O_{16}), dan kompleks 4-4-1 ($\text{T}_{10}\text{O}_{20}$) (b) SBU polihedral: α kubo-oktahedron terpancung (unit sodalit), β (oktahedron terpancung), D8R, D6R, γ (18-hedron), dan ξ (11-hedron).

S4R = single 4-ring, S6R = single 6-ring, S8R = single 8-ring, D4R = double 4-ring, D6R = double 5-ring, D8R = double 8-ring.

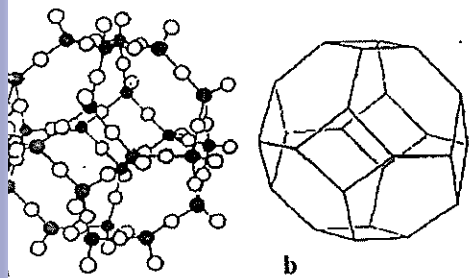
dilihat dari nilai $d = 2,6-2,7 \text{ Mg m}^{-3}$. Akan tetapi mineral zeolit hanya mempunyai $d = 2,1-2,2 \text{ Mg m}^{-3}$, jadi terlihat kalau kerangka zeolit kurang rapat atau dengan kata lain berpori (berongga). Hal ini diperkuat dengan volume kosong (*void volume*) dari zeolit yang terdehidrasi dapat mencapai 50% (Dixon & Weed, 1989). Kerangka zeolit divisualisasikan sebagai tetrahedral-tetrahedral SiO_4^{4-} dan AlO_4^{5-} (yang disebut sebagai **unit pembangun primer** atau *Primary Building Unit*) yang bergabung bersama-sama membentuk pola geometri tertentu (yang disebut sebagai **unit pembangun sekunder** atau SBU = *Secondary Building Unit*). Unit SBU dari 4 cincin atau 6 cincin yang sederhana hingga yang rumit seperti kubo-oktahedra (unit sodalit) ditunjukkan oleh Gambar 2. Model bola dari unit sodalit diilustrasikan oleh Gambar 3a, akan tetapi geometri struktur tersebut akan lebih mudah dilihat jika dibuat garis lurus yang hanya menghubungkan setiap pusat tetrahedron Si atau Al (Gambar 3b) tanpa menunjukkan keberadaan atom O. Dalam hal ini atom O terlokasikan tersembunyi di tengah-tengah garis penghubung tersebut (Barrer, 1982; Dixon & Weed, 1989; Hamdan, 1992; Tsitsishvili *et al.*, 1992). Selanjutnya Tsitsishvili *et al.* (1992) menyatakan

a distribusi Si/Al dapat diduga dari jarak a pusat tetrahedral (T = Si atau Al) dengan O, yaitu umumnya sekitar 0,162 nm untuk tetrahedral Si dan sekitar 0,174 nm untuk tetrahedral Al.

BU terhubung bersama-sama dalam banyak membentuk bermacam-macam kerangka yang memberikan sifat-sifat fisik dan kimia khas. Faktor lain yang mempengaruhi struktur suatu zeolit, selain dari variasi susunan adalah faktor penumpukan (*stacking*) antar sangkar (*cages*) dan ikatan saling silang (*linking*) (Barrer, 1982; Tsitsishvili *et al.*, 1992). Sebagai contoh, zeolit A (zeolit sintetis) sodalitnya terhubung oleh SBU 4 cincin rangkap (D4R) (Gambar 4a); sedangkan pada zeolit faujasit (zeolit alami) unit sodalit yang sama dibungkus oleh SBU 6 cincin rangkap (D6R) (Gambar 4b). Saluran-saluran zeolit terbentuk dari susunan-susunan yang khas tersebut.

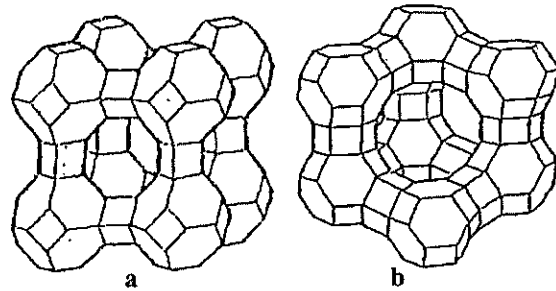
Saluran-saluran tersebut mempunyai sifat pori-pori. Molekul-molekul air umumnya dan molekul-molekul lain yang ukurannya lebih kecil dari ukuran pori dapat terperangkap di sana. Molekul air yang terperangkap secara kurang kuat akan melingkuangi kation dapat terperangkap. Air tersebut dapat dihilangkan dengan pemanasan zeolit secara kontinu dari suhu kamar hingga sekitar 350°C. Jumlah air yang terikat dari zeolit ditentukan sebagai fungsi dari tekanan parsial air dari lingkungan zeolit dan tekanan uap air berada. Setelah air dihilangkan, maka zeolit tersebut akan kembali ke posisinya di lingkungan dalam dari saluran yaitu dekat dengan permukaan.

Sistem saluran mungkin berdimensi satu (saluran-saluran paralel yang tak dibungkus), atau berdimensi dua (berupa saluran-saluran yang berhubungan dalam suatu bidang), dan/atau berdimensi tiga. Laju difusi dari molekul dan tukar-ganti ion adalah fungsi dari luas permukaan dari saluran-saluran tersebut.



Gambar 3. Unit sodalit (a) model bola • = (Si atau Al) o = atom O dan (b) model garis.

Saluran-saluran tersebut mempunyai diameter 0,8-1,0 nm, yang memungkinkan pergerakan kation-kation dan molekul-molekul di dalamnya. Sistem saluran berbeda-beda pada setiap zeolit. Di saluran inilah yang memungkinkan penyaringan molekul atau ion (*molecule sieving*).



Gambar 4. Model kerangka dari (a) zeolit A dan (b) zeolit faujasit.

Sifat-Sifat Mineralogi Zeolit

Komposisi kimia, *void volume*, parameter unit sel, dimensi saluran, nisbah Si/Al, densitas, dan KTK (Kapasitas Tukar Kation) teoritis dari beberapa zeolit alami yang lazim dijumpai terlihat pada Lampiran 2. Umumnya densitas zeolit alami berkisar antara 1,9-2,2 Mg m⁻³, tetapi densitas zeolit yang mengandung banyak atom Ba atau Sr berkisar antara 2,5-2,8 Mg m⁻³. Mineral zeolit mempunyai derajat kekerasan 4 sampai 6 menurut skala Mohs (Dixon & Weed, 1989). Zeolit pada keadaan murni berwarna putih, akan tetapi keberadaan senyawa pengotor (Fe, misalnya) menyebabkan zeolit berwarna merah muda hingga coklat kemerah-merahan, kekuning-kuningan, atau kehijau-hijauan, tergantung pada derajat ketidakmurnian zeolit dan tingkat oksidasi Fe pada keadaan tersebut (Tsitsishvili *et al.*, 1992).

Suspensi zeolit dalam air mempunyai pH berkisar dari 9,5-10,5. Hal ini karena kemampuan zeolit untuk tukar-ganti kation. Kation Na⁺, K⁺, atau Ca²⁺ ditukar dengan H⁺ dari larutan. Pada pH yang lebih tinggi dari kisaran tersebut, zeolit akan luluh sebagian atau semuanya (Barrer, 1982; Tsitsishvili *et al.*, 1992; Cundy *et al.*, 1995). Meskipun zeolit yang rendah Si-nya (Si/Al = 1-1,5) dan sedang Si-nya (Si/Al = 1,5-2,0) akan terdekomposisi dalam larutan yang lebih asam dari pH = 3, akan tetapi zeolit yang tinggi Si-nya seperti klinoptilolit dan mordenit stabil hingga pH sekitar 2, bahkan lebih asam dari pH = 2 untuk periode waktu yang pendek (Dixon & Weed, 1989). Kooyman *et al.* (1997) dengan eksperimen membuktikan bahwa zeolit ZSM-5 (nisbah Si/Al-nya tinggi) terdapat dealuminasi yang tidak

fikan terhadap perlakuan dengan larutan HCl hingga 24 jam pada suhu 80 °C, sedangkan kuan dengan HBr dan H₂SO₄ tidak terjadi minasi.

Tukar Kation dari Zeolit

ation dapat-tukar pada zeolit hanya terikat h di sekitar pusat tetrahedral Al, jadi dapat ngkan atau ditukar secara mudah melalui acian zeolit dengan larutan pekat dari kation Akibatnya, zeolit adalah penukar kation yang if, yang mempunyai nilai kapasitas tukar n (KTK atau CEC = *Cation Exchange icity*) sebesar 200-500 cmol_c kg⁻¹ atau 2-3 lebih besar dari smektit dan vermikulit nis clay/lempung). CEC pada zeolit terutama tukan oleh fungsi derajat substitusi Al³⁺ (atau pada kerangka. Besarnya derajat substitusi ti diperlukan lebih banyak kation alkali atau i tanah untuk menetralkannya, jadi makin CEC-nya. Sebagai teladan, zeolit A etik) (Na₉₆{Al₉₆Si₉₆O₃₈₄}.216H₂O) yang h Si/Al-nya = 1:1 nilai CEC-nya sekitar cmol_c kg⁻¹ sedangkan mordenit Al₈Si₄₀O₉₆}.24H₂O nilai CEC-nya hanya ar 220 cmol_c kg⁻¹, disebabkan karena nisbah -nya tinggi (5:1).

alam prakteknya, sifat tukar kation pada t tergantung pada beberapa faktor, aranya: (i) topologi kerangka (konfigurasi an dan ukuran), (ii) ukuran dan bentuk ampuan polarisasi) ion, (iii) kerapatan an di saluran, (iv) valensi dan kerapatan an ion, dan (v) komposisi elektrolit dan entansi dalam larutan eksternal (Dixon & d, 1989; Tsitsishvili *et al.*, 1992). Jumlah an dan penataan ruangnya menentukan sifat i dari suatu zeolit. Kation lebih cepat fusi pada zeolit yang mempunyai saluran tiga nsi daripada yang satu atau dua dimensi. an kation dan ukuran saluran zeolit ntukan apakah kation dapat menetap di n kerangka. Contohnya, analsim mempunyai eter saluran efektif sekitar 0,28 nm hampir a Na⁺-nya dapat bertukar dengan Rb⁺ (jari-ion = 0,149 nm), tetapi tidak sama sekali an Cs⁺ yang jari-jari ionnya = 0,165 nm. Cs⁺ lu besar untuk dapat melalui saluran.

ada zeolit yang lain, tidak semua kation t-tukar dapat digantikan dengan prosedur karan yang biasa. Sebagai contoh, dua mnya K) dari sembilan kation dapat-tukar nit sel erionit terlokasikan pada saluran yang

sangat kecil untuk difusi yang mudah, jadi CEC yang terukur hanya 78% dari nilai teoritis. Hal yang serupa, K pada klinoptilolit hanya dapat bertukar dengan cara yang sulit, kecuali kalau digunakan kation yang kekuatan medannya rendah seperti Cs⁺; hanya saja pada fenomena ini tidak disebabkan karena K terjebak pada saluran yang kecil, tetapi lebih pada selektivitas yang tinggi dari struktur terhadap kation ini dan lokasinya pada bagian dari sangkar tertentu yang relatif susah dicapai (Dixon & Weed, 1989; Tsitsishvili *et al.*, 1992)

Tidak seperti kebanyakan penukar ion nonkristalin, seperti resin organik dan gel aluminosilikat anorganik (yang sering terlabelkan salah dalam perdagangan sebagai 'zeolit'), zeolit kristalin menunjukkan selektivitas yang signifikan terhadap perkompetisian ion. Kation yang mempunyai kekuatan medan yang tinggi tentu saja akan menempatkan diri dekat dengan pusat tetrahedral Al³⁺, tetapi zeolit menunjukkan selektivitas yang rendah terhadap ion tersebut. Sebaliknya, kation yang kekuatan medannya rendah dapat dihilangkan secara selektif dari larutan eksternal oleh kebanyakan zeolit. Zeolit dengan nisbah Si/Al tinggi (3-5), yang tempat muatan negatifnya sedikit, menunjukkan selektivitas pada kation monovalen daripada kation divalen; sedangkan zeolit yang nisbah Si/Al-nya rendah (seperti zeolit sintetik A = 1, zeolit X = 1,2, dan zeolit Y = 2,4) menunjukkan selektivitas yang tinggi terhadap kation divalen daripada monovalen. Selektivitas terhadap kation trivalen ditemukan pada zeolit tertentu yang nisbah Si/Al-nya rendah. Zeolit tidak mempunyai kemampuan tukar anion yang signifikan (Dixon & Weed, 1989).

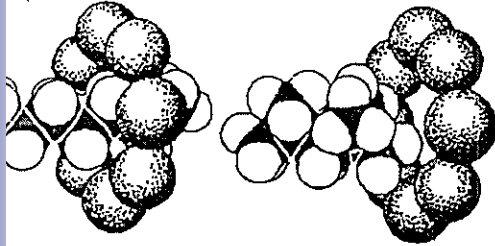
Sifat dapat-tukar kation dari zeolit ini telah dimanfaatkan secara luas di dalam bidang pertanian dan industri, baik untuk pemupukan, perternakan, maupun penanganan air minum dan limbah (Zeolyst International, 2000).

Sifat Adsorpsi dan Penyaring Molekul dari Zeolit

Zeolit kristalin adalah adsorben yang unik, dicirikan oleh volume kosongnya yang berkisar dari 20%-50% dan luas permukaan internalnya yang dapat mencapai ratusan ribu m² per kg. Zeolit yang terdehidrasi menunjukkan sifat hidrofilik. Kebanyakan untuk dapat mengadsorpsi, zeolit harus didehidrasi terlebih dahulu dengan pemanasan. Molekul cair dan gas yang diameter lintang efektifnya cukup kecil dapat masuk ke



saluran yang berukuran 0,3-1,0 nm dan mudah teradsorpsi di sana yaitu pada tur yang terdehidrasi. Molekul yang ukuran besar tidak dapat masuk ke dalam an dan tertahan di luar, fenomena ini yang al sebagai penyaringan molekul (Gambar 5).



Gambar 5. Ilustrasi penyaringan molekul oleh saluran zeolit.

hidrokarbon normal seperti pentana dan oktana (diameter efektif sekitar 0,43 nm) dapat dengan mudah masuk ke dalam saluran pada zeolit A (sintetik) (diameter saluran masuknya sekitar 0,45 nm), sedangkan hidrokarbon rantai panjang seperti isopentana dan isooktana (diameter efektif sekitar 0,5 nm) pada zeolit ini tidak akan teradsorpsi. Hal ini dijelaskan oleh Derouane & Gabelica (1980) secara rinci mengenai bagaimana zeolit ZSM-5 mengontrol aliran lalu lintas molekul.

Selektivitas adsorpsi tergantung terutama pada polaritas molekul adsorbat, kebanyakan molekul organik lebih disukai daripada yang kurang polar. Zeolit adalah adsorben yang efektif untuk H_2O , SO_2 , NO_x , dan H_2S ; dan H_2O -lah yang paling disukai. Zeolit digunakan untuk menyerap air dari campuran CH_4-CO_2 untuk meningkatkan kualitas gas alam, selain itu juga digunakan untuk menghilangkan SO_2 dan NO_x dari gas buangan industri. Kegunaan zeolit sebagai adsorben dan katalis dalam industri minyak bumi dijelaskan oleh Breck (1982) dan Tsitsishvili *et al.* (1992), terdapat penjelasan dalam bentuk produk jadi yang dapat dilihat pada www.zeolyst.com (serial online).

Pembentukan Zeolit

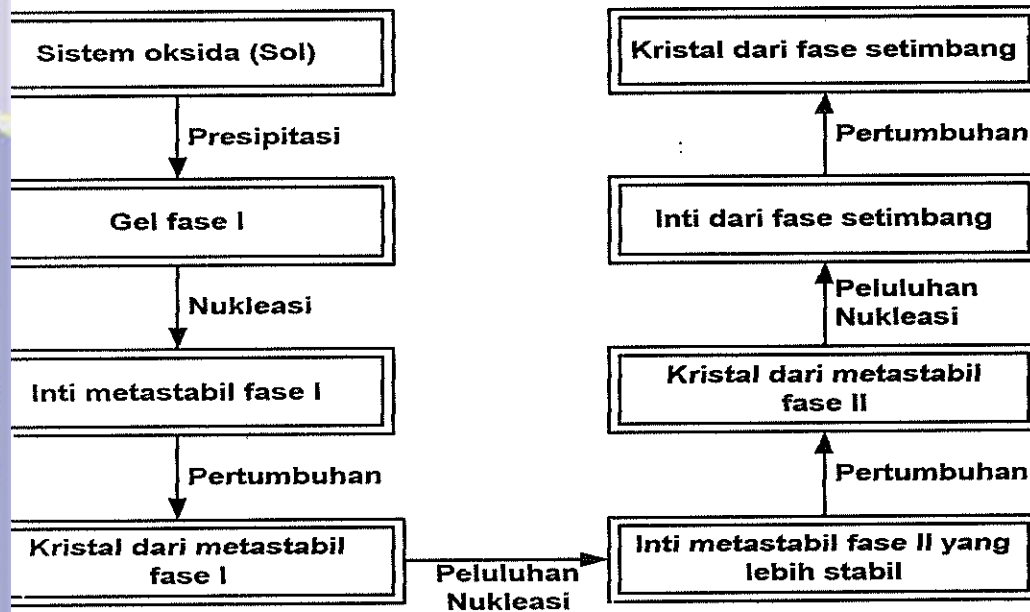
Banyak penyelidikan dilakukan hingga sekarang untuk mengetahui proses pembentukan zeolit di alam. Salah satu asumsi awal yang masuk akal adalah debu vulkanik yang sangat reaktif mengalami transformasi melalui mekanisme peluluhan-keasiditan membentuk zeolit. Asumsi lain mengatakan bahwa zeolit alam terbentuk dari air antara debu vulkanik yang reaktif dengan

air laut yang mengandung banyak garam alkali dan alkali tanah yang berlangsung pada pH 9-10 dan suhu 300-328 K (27-55 °C), tetapi proses kristalisasinya memakan waktu 50.000 tahunan (Jacobs & Martens, 1987). Reaksi pembentukan zeolit di alam ditentukan oleh beberapa variabel, diantaranya: pH, nisbah Si/Al, salinitas sistem, dan reaktivitas Si, Al, H_2O , dan berbagai kation (Breck, 1982; Tsitsishvili *et al.*, 1992). Breck (1982) mengemukakan bahwa kelarutan Si meningkat dengan cepat pada pH diatas 9 disebabkan karena ionisasi asam monosilikat; sedangkan kelarutan Al meningkat pada pH diatas 8 ion $Al(OH)_4^-$ yang dominan dalam larutan.

Pada tahun 1940-an Barrer memperkenalkan metode gel, sebuah percobaan skala laboratorium untuk mensintesis zeolit seperti yang terjadi di alam, hanya saja dilangsungkan pada temperatur tinggi; hasilnya waktu kristalisasi menjadi singkat. Variabel utama dari metode ini adalah temperatur sintesis, pH, reaktivitas sumber silika, nisbah Si terhadap Al dalam campuran sintesis, dan sifat alkali. Pada pH sekitar 12 hidrogel silika-alumina terbentuk. Sistem hidrogel ini berada dalam keadaan lewat jenuh. Di bawah kondisi hidrotermal 373-473 K (100-200°C) larutan lewat jenuh tersebut memasuki keadaan metastabil fase I dan selanjutnya bernukleasi. Setelah nukleasi, nukleus (inti) tumbuh lebih jauh menghasilkan kristal yang lebih besar. Kristal ini kemudian akan larut dalam larutan induk membentuk keadaan metastabil fase II yang lebih stabil, lalu bernukleasi kembali, dan akhirnya membentuk kristal yang stabil. Proses ini merupakan fungsi waktu (Gambar 6) (Breck, 1982; Jacobs & Martens, 1987).

Sekarang sintesis zeolit dipermudah dengan kehadiran molekul pengarah (*template*) di dalam campuran gel. Molekul pengarah biasanya berupa basa organik terutama TPA-Br (tetrapropilamonium bromida) atau TPA-OH (tetrapropilamonium hidroksida) (Argauer & Landlot., US Patent 3,702,886), selain itu juga digunakan TMA-Cl (tetrametilamonium klorida), TMA-OH (tetrametilamonium hidroksida), campuran *n*-propil bromida dan tripropilamina, 1,6-heksanadiamin, 1-propanamina, dan garam-garam amina tersier (Anwar, 1992; Anwar, 1993). Jacobs & Martens (1987) mengemukakan bahwa amonium organik kuarterner (TPA-Br contohnya) mempunyai dua fungsi, yaitu

1. mereka berperan sebagai basa kuat yang menambah banyak ion OH^- pada sistem; jadi



ambar 6. Pendekatan fase metastabil isothermal pada proses kristalisasi zeolit.

meningkatkan pH, kelarutan silika, dan laju kelewatjenuhan sistem, ion kuarteren dapat membentuk klatrat air (*water clathrate*) dan mungkin dapat mengklarat silika.

Penambahan senyawa organik tersebut mempunyai dua efek, yaitu mengubah struktur zeolit dengan jumlah Si yang tinggi yang melalui didapatkan, atau dengan derajat substitusi Al yang rendah terhadap Si, kadang-kadang didapatkan struktur zeolit yang baru sama sekali, mungkin akibat efek pengarahan (*templating effect*) dari basa organik tersebut.

Identifikasi Zeolit

Identifikasi zeolit biasanya dilakukan dengan analisis sinar-X bubuk (*powder XRD = X-Ray action*), *scanning electron microscopy* (SEM), analisis permukaan BET (*Brunauer-Emmett-Teller*), TPD (*Temperature-Programmed Desorption and Adsorption*), spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR = *Fourier Transformation Infrared Spectroscopy*), spektroskopi NMR zat padat (*solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy*) khususnya ^{29}Si dan ^{27}Al MAS (*Magic Angle Spinning*) NMR, *differential scanning calorimetry* (DSC), *thermogravimetry analysis* (TGA), analisis unsur dengan AAS (*Atomic*

Absorption Spectroscopy), dan analisis kapasitas tukar kation dengan titrasi (Baker, 1985; Dixon & Weed, 1989; Hamdan, 1992; Tsitsishvili *et al.*, 1992; Iskandar, 1994).

Difraksi Sinar-X.

XRD bubuk digunakan untuk menentukan struktur kristal dari suatu kristalin. Dari pola XRD diperoleh data berupa jarak interplanar d (nm), intensitas relatif (I/I_0), indeks Miller hkl , dan parameter unit sel (a , b , c , α , β , dan γ). XRD bubuk adalah metode yang penting untuk analisis kualitatif dan kuantitatif struktur zeolit. Analisis kualitatif digunakan untuk menentukan senyawa kristalin jenis apa saja yang terdapat dalam suatu contoh bubuk. Data d dari contoh dicocokkan dengan d dari senyawa-senyawa yang ada di database JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) dan Ballmoos & Higgins (1990). Pola XRD juga menyediakan informasi tentang kemurnian zeolit, derajat kristalinitas, perubahan parameter unit sel dengan perubahan komposisi, memungkinkan untuk menentukan sistem kristal (kubik, heksagonal, tetragonal, ortorombik, monoklinik, atau triklinik) dan *space group* (Cullity, 1959, West, 1988).

Pola XRD adalah plot intensitas sinar terdifraksi (I) dengan 2θ , dengan θ adalah sudut difraksi yang memenuhi hukum Bragg. Hukum Bragg berlaku:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

alah jarak interplanar, dan λ adalah panjang gelombang sinar-X. Parameter unit sel mempunyai hubungan dengan d dan hkl (indeks Miller), misalnya untuk sistem kubus:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

di mana $a = b = c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Prinsip XRD ini adalah contoh bubuk yang diameternya $< 50 \mu\text{m}$ ditempatkan pada diffraktometer dan diiradiasi dengan sinar-X (Coxley, 1959; West, 1988).

FTIR (Fourier Transformation Infrared)

Frekuensi dari vibrasi kerangka pada daerah inframerah (300-1300 cm^{-1}) menyediakan informasi tentang komposisi dan sifat-sifat yang berhubungan dengan interaksi tetrahedral SiO_4^{4-} dan AlO_4^{5-} . Kenampakan spektra inframerah dapat berkorelasi dengan kehadiran tipe-tipe unit kristal tertentu. Dasar pembacaan FTIR dikembangkan oleh Flanigen, Khatami, dan Brunsch (FKS). Prinsipnya didasarkan pada analisis frekuensi vibrasi, yaitu:

- vibrasi internal dari tetrahedral TO_4 ($T = \text{Si, Al}$) atau unit primer pada kerangka zeolit, yang sensitif terhadap komposisi kerangka;
 - vibrasi yang berkaitan dengan hubungan eksternal antar tetrahedral, yang sensitif terhadap topologi kerangka secara keseluruhan (baik SBU maupun TBU) (Hamdan, 1992).
- Dari itu dari FTIR kita dapat mengetahui informasi kerangka (pada permukaan internal dan eksternal) dan dapat mendeteksi apakah asam Bronsted atau asam Lewis (Trombetta *et al.* 2000). Alvarez *et al.* (1997) dengan penelitiannya menunjukkan vibrasi FTIR dari zeolit umumnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Puncak vibrasi FTIR dari zeolit

Vibrasi Internal		
	cm^{-1}	maks (cm^{-1})
Uluran asimetris	950-1250	1146
Uluran simetris	650-720	729
Tekukan T-O	420-500	443
Vibrasi Eksternal		
	cm^{-1}	maks (cm^{-1})
Uluran asimetris	1050-1150	1068
Uluran simetris	750-820	781
Cincin ganda	500-650	573
Pori terbuka	300-420	364

Jacobs & Martens (1987) menuliskan vibrasi FTIR dari beberapa zeolit, diantaranya mordenit seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Puncak vibrasi FTIR dari mordenit

Vibrasi Internal	
	cm^{-1}
Uluran asimetris	1050 vs
Uluran simetris	720 w
Tekukan T-O	450 s
Vibrasi Eksternal	
	cm^{-1}
Uluran asimetris	1225 sh
Uluran simetris	800 m
Cincin ganda	580, 560 w
Pori terbuka	300-420
sh = bahu	m = sedang
vs = sangat kuat	w = lemah
s = kuat	

SEM (Scanning Electron Microscopy)

SEM menyediakan informasi tentang topografi permukaan dan ukuran kristal. SEM yang canggih dapat membuat visualisasi tiga dimensi permukaan contoh. Prinsipnya: contoh ditembak dengan elektron, selanjutnya elektron sekunder ditangkap oleh detektor lalu data dari detektor diolah lebih lanjut menghasilkan *image* permukaan. Karena contoh ditembak dengan elektron mungkin terjadi perubahan muatan, maka untuk menghindari hal tersebut contoh dilapisi dengan karbon atau logam emas (Baiker, 1985; Hamdan, 1992).

Isoterm BET dan TPD-TPR

Isoterm BET digunakan untuk menganalisis kemampuan fisisorpsi suatu permukaan terhadap gas, biasanya N_2 yang sering digunakan. Dari analisis ini akan didapatkan data berupa distribusi ukuran pori, volume pori, dan luas permukaan spesifik. TPD digunakan untuk menyelidiki fenomena kimisorpsi pada permukaan contoh yang menunjukkan sifat sebagai katalis. TPR untuk mengetahui kemampuan reduksi suatu permukaan dan kemajemukan permukaan (Baiker, 1985)

^{29}Si dan ^{27}Al MAS NMR

MAS NMR digunakan untuk menghitung jumlah Si dan Al yang terdapat pada kerangka zeolit secara tepat. Suatu zeolit di dalamnya terdapat Si-Al yang terikat pada kerangka dan Si-

yang tidak terikat pada kerangka. Suatu analisis unsur hanya dapat menghitung jumlah Si-total. MAS NMR-lah yang dapat menyelesaikan masalah ini (Hamdan, 1992).

, DSC, dan TGA

Prinsip ketiganya terletak pada perubahan yang kontinu. Ketiganya termasuk analisis DTA. Pada TGA, perubahan bobot contoh yang diamati. Pada termooanalisis differensial (DTA dan DSC), perubahan entalpi (J/mol) atau panas spesifik ($J g^{-1} K^{-1}$) contoh yang diamati (Baiker, Iskandar, 1994).

Analisis Unsur dengan AAS

Untuk dapat dianalisis dengan AAS maka sampel zeolit harus dilebur terlebih dahulu agar semua unsur berada dalam bentuk ionnya (Skoog, 1961; Skoog & West, 1980; Willard et al, 1981; Hamdan, 1992; Iskandar, 1994).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah contoh zeolit dari Gunung Kidul, HCl 37% pa, HP water (deionized water), $AgNO_3$ encer, padatan KBr , H_2O_4 10% (v/v), HF 48% pa.

Alat yang dipakai adalah alat-alat kaca, oven, pemanas, reaktor, perangkat refraksi, pemanas, pH meter, timbangan analitik, perangkat FTIR, perangkat SEM, perangkat difraktometer sinar-X, perangkat AAS, perangkat lunak Microsoft Office 2000.

Pembuatan Larutan HCl 3 N dan 6 N

Untuk membuat 1 liter larutan HCl 1 N diperlukan 82,81 ml HCl 37% pa. Jadi untuk membuat 1 liter HCl 3 N diperlukan 248,43 ml (1 ml x 3) HCl 37% dan HCl 6 N diperlukan 496,86 ml (82,81 ml x 6) HCl 37%.

Modifikasi Asam dari Zeolit Alami

Zeolit alami (kode: ZEO-AWAL) digerus hingga berukuran $<212 \mu m$ (lolos 65 mesh), setelah itu dikeringkan di oven pada suhu $120^\circ C$ selama 3 jam, lalu ditentukan kadar airnya. Sebanyak masing-masing 10 g contoh kering ditimbang sebanyak 2 kali, masing-masing ditambahkan HCl 3 N dan HCl 6 N sebanyak 100 ml (bobot contoh: bobot larutan HCl = 1 : 10). Campuran direfluks

pada titik didihnya selama 6 jam (kondensor menggunakan air es) dengan ujung kondensor tertutup. Selanjutnya disaring, filtrat disimpan dan residu dicuci dengan air HP hingga bebas ion Cl^- (diuji dengan $AgNO_3$ encer). Residu dikeringkan di oven selama 3 jam pada suhu $120^\circ C$, kemudian ditimbang dan ditentukan efisiensi demineralisasinya. Residu hasil perlakuan HCl 3 N diberi kode ZEO-T1 dan hasil perlakuan HCl 6 N diberi kode ZEO-T2. Selanjutnya dilakukan analisis XRD, FTIR, SEM, dan AAS.

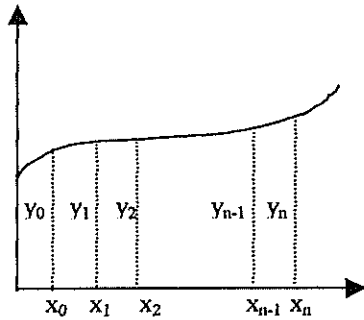
Karakterisasi Zeolit Alami Termodifikasi Asam

Analisis XRD Bubuk

Difraktometer sinar-X yang digunakan adalah tipe PW1710 Based Phillips yang dikendalikan dengan perangkat lunak APD (*Automatic Powder Diffraction*). Kondisi pengoperasian adalah 35 kV dan 30 mA dengan menggunakan radiasi $CuK\alpha$ ($\lambda_1 = 1,54060 \text{ \AA}$ dan $\lambda_2 = 1,54439 \text{ \AA}$). Interval pencatatan $0,02^\circ 2\theta/1,25$ detik. Sebelum digunakan untuk menganalisis contoh, difraktometer dikalibrasi dengan standar eksternal silikon (99,99% Si). Contoh di-scan dari sudut 2θ $3,00^\circ - 59,96^\circ$. Raw data (data mentah) hasil scan yang berupa data intensitas setiap interval $0,02^\circ$ dapat dibangkitkan dari file *.udf dengan memanfaatkan perangkat lunak WORD dan EXCEL. Contoh hasil pembangkitan data dapat dilihat pada Lampiran 9

Perintah Pembangkitan Data. Buka file *.udf dengan WORD lalu klik Plain Text dan klik OK. Delete data yang bukan angka. Lalu klik Edit dan pilih Replace. Pada Find What ketik tanda koma (,) lalu pada Replace With diketik ^p selanjutnya klik Replace All. Setelah itu klik lagi Edit dan pilih Replace. Pada Find What tekan 5 kali spasi, lalu pada Replace With dikosongkan selanjutnya klik Replace All. Seluruh data dicopy dengan mengklik Edit lalu pilih Select All dan berikutnya tekan toolbar copy. Data hasil copy, dipaste pada salah satu sel worksheet EXCEL (buat sebagai sumbu Y). Selanjutnya buat urutan dari $3,00^\circ - 59,96^\circ$ dengan interval $0,02^\circ$ (buat sebagai sumbu X). Dari series ini buat grafik hubungan 2θ dan intensitas.

Perhitungan Luasan di Bawah Kurva. Prinsipnya yaitu aturan trapesoidal, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Model aturan trapesoidal.

Luasan di bawah kurva adalah:

$$\frac{1}{2} (y_0 + y_1) \Delta x + \frac{1}{2} (y_1 + y_2) \Delta x + \dots +$$

$$\frac{1}{2} (y_{n-1} + y_n) \Delta x \text{ atau}$$

$$\frac{1}{2} (y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + y_n) \Delta x$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{2} (y_i + y_{i+1}) \Delta x$$

mas, 1972). Derajat kristalinitas (α) dihitung luasan di bawah kurva 18^o-40^o yang telah eksi dengan luasan intensitas latar belakang (*intensity*) pada interval itu juga dari contoh f terhadap referens. Dipilih interval tersebut a pada daerah tersebut banyak puncak- k dengan intensitas tinggi (sekitar I_{maks}) m, 2001)

$$\frac{\text{Luasan kurva } 18^0 - 40^0 \text{ contoh}}{\text{Luasan kurva } 18^0 - 40^0 \text{ referens}} \times 100\%$$

ujian Contoh. Contoh harus berupa bubuk berukuran <50 μm dan telah dikeringkan 120^oC selama 3 jam. Selanjutnya contoh patkan pada plat contoh. Berikutnya tometer dikalibrasi, setelah itu baru contoh m.

ifikasi Senyawa yang Terdapat pada oh (Analisis Kualitatif dan Kuantitatif). oh keluaran difraktometer terlampir pada iran 11. Untuk analisis kualitatif singkatnya, d keluaran tersebut dicocokkan dengan data 2, dan d₃ (3 *strongest line*) dari senyawa- wa yang terdapat pada database JCPDS dan jang oleh buku *Collection of Simulated XRD ler Diffraction Patterns for Zeolites* moos & Higgins, 1990), dengan d₁ mbangkan intensitas maksimum dan d₂ < d₁ (Cullity, 1959). Nilai *d* suatu kristal n dapat ditoleransi pada $\pm 0,01$, akan tetapi c kasus bahan alam nilai ini dapat ditoleransi ga $\pm 0,02$ (Hikam, 2001). Cullity (1959)

mengungkapkan bahwa analisis kuantitatif multifase umumnya dilakukan dengan 2 cara, yaitu metode perbandingan langsung dan metode internal standar.

Analisis FTIR

Contoh yang telah dikeringkan pada 120^oC selama 3 jam digerus dengan padatan KBr lalu ditekan pada keadaan vakum hingga diperoleh lempeng tipis yang transparan. Pengukuran dilakukan pada daerah IR tengah yaitu pada bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} .

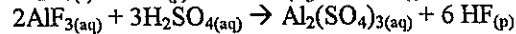
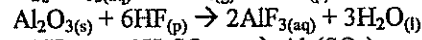
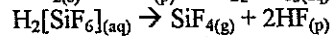
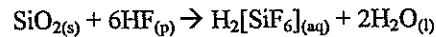
Analisis SEM

Preparasi contoh dilakukan melalui penyalutan emas dalam keadaan vakum. Selanjutnya ditempatkan pada wadah contoh di alat. Lalu di-*imaging* dan dipilih di titik mana dan perbesaran berapa yang akan direkam.

Analisis Unsur

Analisis unsur dilakukan dengan 2 tahapan yaitu penentuan SiO₂ dengan metode gravimetri kemudian dilanjutkan dengan penentuan logam lain (Al, Na, K, Mg, Ca, dan Fe) dengan AAS.

1. SiO₂ ditentukan dengan metode gravimetri menurut reaksi:



Sekitar 0,25 g contoh zeolit kering ditimbang di cawan platina, lalu ditambahkan 5 ml H₂SO₄ 10% (v/v). Kemudian segera ditambahkan HF 48% (dengan hati-hati) hingga cawan hampir penuh. Dibiarkan bereaksi panas selama 15 menit, lalu diuapkan perlahan-lahan di atas pemanas di ruang asam hingga tidak terlihat lagi ada asap putih yang keluar dari dalam cawan. Setelah asap putih tidak ada lagi, ditunggu sekitar 5 menit. Berikutnya didinginkan di desikator lalu ditimbang. Selisih bobot awal dan bobot residu adalah bobot SiO₂ (dengan asumsi bahwa semua SiO₂ telah menjadi uap SiF₄).

2. Penentuan logam lain dengan AAS

Residu hasil di atas ditambahkan 3 ml air HP dan 5 tetes HCl pekat sambil dipanaskan hingga semua residu larut. Larutan ditera menjadi 100 ml. Larutan siap dianalisis dengan AAS. Logam yang dianalisis diantaranya Al, Na, K, Ca, Mg, dan Fe. Metode analisis unsur zeolit ini menggunakan metode Vogel (1961) yang sedikit dimodifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Modifikasi

penampakan visual memperlihatkan bahwa zeolit alami yang diperlakukan dengan HCl 3 N (ZEO-T1) berwarna putih kehijauan. Lain halnya dengan zeolit alami yang diperlakukan dengan HCl 6 N (ZEO-T2), warnanya putih. Kadar air zeolit alami 7,20% (b/b). Efisiensi demineralisasi zeolit alami 20% (b/b). Jadi ada sekitar 24,00% (b/b) yang tersisa setelah perlakuan dengan HCl 6 N.

Setelah diketahui bahwa HCl 6 N yang terbaik untuk selanjutnya dibuat contoh yang banyak digunakan metode ini dan diberi kode **ZEO-T21**. Percobaan ZEO-T21 dilakukan pada suhu 80 °C dalam sistem terbuka. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mempercepat proses pelarutan garam dari pori-pori yang terperangkap di dalam pori kristal. Lain halnya dengan ZEO-TP yang dicoba dicuci pada suhu ruangan. Namun ternyata ada beberapa hal, contoh sempat terendam dalam larutan pH < 2 selama hampir 3 hari. Contoh selanjutnya diberi kode **ZEO-TP**. ZEO-T21 dan ZEO-TP juga berwarna putih.

Analisis Difraksi Sinar-X

Analisis dengan difraksi sinar-X menunjukkan bahwa zeolit alami mengandung mordenit (MOR), clinoptilolit (CLI), dan SiO₂ (kuarsa) α . Data hasil analisis kualitatif dan kuantitatif dapat dilihat pada Lampiran 3-8. Lampiran 8 menunjukkan bahwa secara umum kandungan mineral zeolit alami dari Gunung Kidul adalah MOR (50-60%), CLI (10-30%), dan kuarsa α (1-30%). Nilai ini bervariasi karena seperti kita ketahui bahwa komposisi zeolit alami terdapat di sedimen tanah (Dixon & Dixon, 1989; Tsitsishvili *et al.*, 1992) yang tentu saja berbeda-beda kandungannya setiap daerahnya. Hal ini disebabkan karena selama proses pembentukan mineral hingga sekarang telah terjadi berkali-kali perubahan struktur lapisan kristal bumi. Jadi sudah tentu terdistribusi secara tidak homogen.

Zeolit yang berwarna putih (ZEO-T2, ZEO-TP, dan ZEO-T21) tersebut diasumsikan telah bersih dari pengotor. Namun, hal ini harus dibuktikan dengan analisis difraksi sinar-X. Ternyata setelah dianalisis terlihat bahwa kristal zeolit yang berwarna putih tersebut hanya mengandung MOR (50%) dan kuarsa α (10-20%) (Lampiran 5-7).

Klinoptilolit luluh oleh perlakuan HCl 6 N. Mengapa MOR tidak luluh oleh HCl 6 N? Kuarsa α sudah tentu tidak rusak oleh HCl 6 N, karena zeolit baru akan rusak kalau direaksikan dengan asam HF. Ini disebabkan karena struktur SBU 5-1 dari MOR yang tahan terhadap HCl 6 N. Berarti hal yang sama juga berlaku untuk zeolit lain yang SBU-nya 5-1 (ZSM-5 misalnya) [ZSM-5 dan MOR merupakan kelompok zeolit 5 cincin menurut Koningsveld (1992)]. Ini sesuai dengan hasil penelitian Kooyman *et al.* (1997) Hal ini juga didukung oleh penelitian Kosanovic *et al.* (1995). Kosanovic *et al.* (1995) mengamati bahwa waktu yang dibutuhkan untuk total amorfisasi mordenit lebih lama daripada zeolit A dan X. Ini disebabkan karena stabilitas SBU 5-1 dari MOR, jika dibandingkan dengan D-4 dari zeolit A dan D-6 dari zeolit X.

Perlakuan zeolit dengan HCl ini pada jurnal-jurnal ilmiah dikenal dengan nama dealuminasi. HCl diharapkan dapat menarik Al kerangka keluar dari sistem zeolit. Konsekuensi dari proses ini berarti ada perubahan struktur. Dari yang tadinya ikatan Al-O (1,69 Å) menjadi Si-O (1,61 Å), akibatnya unit sel mengkerut. Hal ini membuat nilai *d* menurun dan puncak difraksi menggeser ke arah 2θ lebih besar (Hamdan, 1992). Fenomena ini juga terlihat pada Lampiran 3-7. Selain itu alasan di atas, Herdianita *et al.* (1999) membuktikan bahwa pada pengukuran derajat kristalinitas silika, pergeseran nilai *d* juga disebabkan oleh pengaruh perlakuan selama preparasi spesimen (cara basah atau cara kering).

Jika dibandingkan dengan data dari Atlas Zeolit dan JCPDS untuk mordenit ada banyak puncak yang muncul tetapi puncak yang muncul pada contoh hanya sedikit. Pengaruh asam menyebabkan penurunan nilai *d*, akibatnya ada beberapa puncak yang kurang tinggi I relatifnya saling bertindihan dan memberikan nilai intensitas gabungan. Fenomena ini terlihat jelas pada ZEO-T21 dan ZEO-TP, jika dibandingkan dengan ZEO-T2. Pada ZEO-TP yang sempat terendam lama (hampir 3 hari) dengan larutan pH < 2 terlihat bahwa jumlah puncak makin berkurang dan terjadi pergeseran *d* yang signifikan. Jadi MOR yang stabil pun akan rusak juga jika direndam dalam larutan pada pH < 2 selama waktu yang lama. Dari ini sudah dapat dipastikan bahwa Al pada ZEO-TP sudah banyak berkurang dan kerangkanya terjadi perubahan struktur yang signifikan. Namun, Sawa *et al.* (1992) mengatakan bahwa pada H-MOR terdapat banyak

as Al oktahedral (sekitar 28%), dan Al kerangka yang sebagian telah hilang saat minasi.

Selanjutnya Sawa *et al.* (1992) juga mengemukakan bahwa terjadi perubahan struktur pori terbuka (*pore-opening structure*) MOR yang didealuminasi dengan HCl 8 M selama 24 jam. Beliau menyimpulkan bahwa (i) ukuran kecil Al nonkerangka yang dekat dengan pori terbuka akan mengganggu adsorpsi molekul; (ii) ukuran pori terbuka yang didealuminasi pada suhu 85 °C dapat mengadsorpsi 2,2,4-trimetilpentana (0,80 mmol/g) dan oktana (0,85 mmol/g); dan (iii) dealuminasi pada suhu di atas 85 °C mengakibatkan pori terbuka rusak dan tertutup oleh Al nonkerangka (yang biasanya membentuk gerombol atau *cluster*) dan hal ini menghalangi adsorpsi molekul besar. Dari temuan di atas dapat disarikan bahwa variasi ukuran pori terbuka berhubungan dengan aktivitasnya sebagai adsorben dan katalis. Nimz *et al.* (1997) dengan penelitiannya membuktikan daya katalitik H-MOR alami saat mengkonversi dekalin. Kemudian itu Alvarez *et al.* (1997) menambahkan bahwa pori terbuka juga dapat diamati vibrasinya dengan bilangan gelombang sekitar 300-420 cm⁻¹. Perubahan struktur MOR hasil modifikasi dengan HCl juga dapat kita lihat pada derajat kristalinitasnya. Derajat kristalinitas dari zeolit sebelum dan hasil modifikasi disajikan pada Tabel 3. Hubungan kontak antara zeolit dengan larutan pada pH < 2 dan teknik pencucian [sistem tertutup (oksigen minimum) dan sistem terbuka (oksigen maksimum)] mempengaruhi derajat kristalinitas. Metode yang terbaik adalah pencucian dilakukan dengan secepat mungkin pada sistem tertutup (ZEO-T2).

3. Luas puncak 18⁰ - 40⁰, luas 18⁰ - 40⁰ terkoreksi, luas puncak total, dan derajat kristalinitas relatif dari contoh

Luas Puncak 18 ⁰ -40 ⁰	Luas 18 ⁰ -40 ⁰ Terkoreksi	Luas Puncak Total	Kristalinitas Relatif (%)
7055,20	3323,47	13156,97	100,00
8368,39	3032,80	15255,55	91,25
9928,65	3453,76	18089,65	103,92
9177,36	2737,28	16907,73	82,36
8536,37	2286,14	15940,47	68,79

Analisis SEM (*Scanning Electron Micrograph*)

Analisis SEM tidak memberikan informasi yang berharga karena contoh zeolit yang digunakan telah dihaluskan, jadi bentuk kristalnya rusak. Namun, dari sana diperoleh informasi

bahwa setelah diperlakukan dengan HCl 6 N penampakan topografi secara umum lebih bersih daripada keadaan awal. Analisis SEM akan memberikan informasi berguna jika zeolit termodifikasi asam dikristalisasi ulang dengan otoklaf hidrotermal.

Analisis FTIR

Dari analisis FTIR pada daerah 400-1500 cm⁻¹ terlihat bahwa puncak-puncak ZEO-AWAL belum tajam. Ini disebabkan karena pengotor. Pada ZEO-T1 puncak-puncak sudah terlihat tajam terutama pada 792 cm⁻¹ (uluran simetris vibrasi eksternal, sedang), 624 cm⁻¹ (cincin ganda, sangat lemah), dan 463 cm⁻¹ (tekukan T-O, sedang). Nilai-nilai ini masih menunjukkan sifat vibrasi yang umum dijumpai pada zeolit. Namun, daerah sekitar 1000-1200 cm⁻¹ dan 650-750 cm⁻¹ tampak masih melebar. Pada ZEO-T2, puncak-puncak mordenit terlihat jelas yaitu pada 1095 cm⁻¹ (uluran asimetris vibrasi internal, sangat kuat), bahu sekitar 1250 cm⁻¹ (uluran asimetris vibrasi eksternal), 800 cm⁻¹ (uluran simetris vibrasi eksternal, sedang), 626 cm⁻¹ (cincin ganda, sangat lemah), 574 cm⁻¹ (cincin ganda, lemah), dan 458 cm⁻¹ (tekukan T-O, kuat). Terlihat jelas bahwa pada daerah 1000-1200 cm⁻¹ puncak menajam.

Puncak-puncak pada ZEO-T21 pada umumnya mirip dengan ZEO-T2. Perbedaan yang signifikan yaitu pada daerah 1000-1200 cm⁻¹ puncak tampak melebar, sekitar 800 cm⁻¹ puncak uluran simetris vibrasi internal dan vibrasi eksternal muncul, dan puncak cincin ganda menggeser ke 572 cm⁻¹. Begitupun juga dengan ZEO-TP puncak-puncaknya serupa dengan ZEO-T2. Namun, perbedaan yang nyata terlihat pada puncak sekitar 1000-1200 cm⁻¹ yang lebar. Puncak ini lebih lebar dari ZEO-T21.

Hal di atas mengandung arti bahwa struktur ZEO-T2 berbeda dengan ZEO-T21 dan ZEO-TP. Jika dilihat pada puncak yang tajam pada ZEO-T2 berarti ZEO-T2 lebih baik daripada ZEO-T21 dan ZEO-TP dan ZEO-T21 lebih baik daripada ZEO-TP. Gambar FTIR ZEO-AWAL, ZEO-T1, ZEO-T2, ZEO-T21, dan ZEO-TP dapat dilihat pada Lampiran 16-20.

Analisis Unsur

Analisis unsur dari ZEO-AWAL dan ZEO-T21 tersajikan pada tabel 4. Data tersebut memperlihatkan bahwa perlakuan asam menyebabkan penurunan kadar Fe₂O₃, CaO, dan

hingga 80-90 %. Jadi tidak semuanya dapat strak oleh HCl 6 N karena mungkin logam but terletak pada kerangka sangkar yang untuk dimasuki oleh molekul HCl.

Setelah perlakuan dengan HCl 6 N nisbah total/ Al_2O_3 total naik, yaitu dari keadaan sebesar 3,35 naik menjadi 5,09. Naiknya SiO_2 total dari 39,85 % menjadi 79,38 % kadar Al_2O_3 dari 11,89 % menjadi 15,61 % berikan informasi bahwa densitas atom ngkat, artinya jumlah atom per 1000 \AA^3 ngkat dan volume pori mengecil.

4. Kadar oksida (b/b) dari ZEO-AWAL dan ZEO-T21

	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)
Awal	39,85	11,89	2,49	0,34	0,70
T21	79,38	15,61	0,21	0,07	0,07

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Analisis XRD menunjukkan bahwa zeolit yang berasal dari Gunung Kidul mengandung MOR (50-75%), CLI (10-30%), dan α (1-30%). Setelah diperlakukan dengan HCl 6 N, zeolit termodifikasi hanya mengandung MOR (80-90%) dan kuarsa α (10-20%) dan alami perubahan struktur dan komposisi. Dari itu analisis XRD memberikan informasi tentang derajat kristalinitas zeolit alami termodifikasi HCl 6 N akan tinggi jika proses adsorpsi dan pencucian ion Cl^- dilakukan pada titik adsorpsi larutan dalam sistem tertutup. Derajat kristalinitas zeolit termodifikasi asam akan turun jika direndam lama dalam larutan pH<2. Derajat kristalinitas berkorelasi dengan puncak FTIR di daerah 1000-1200 cm^{-1} yang semakin menajam. Semakin tinggi nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ akibat perlakuan HCl 6 N menyebabkan penurunan dan pergeseran puncak pada XRD, naiknya densitas atom, dan mengecilnya volume pori.

Saran

Analisis FTIR untuk penelitian selanjutnya diharapkan bersifat kuantitatif. Untuk dapat dilihat struktur kristalnya dengan SEM, zeolit termodifikasi HCl 6 N harus dikristalisasi ulang. Selanjutnya zeolit termodifikasi HCl 6 N diharapkan diotoklaf hidrotermal dengan

mengacu ke sintesis zeolit ZSM-5. Berikutnya dilakukan uji perengkahan katalitik untuk melihat aktivitas dan selektivitasnya lalu dibandingkan dengan zeolit alami dan zeolit termodifikasi asam.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez LJ, Ramirez-Solis A, Giral PB. 1997. Mechanisms of formation of extra framework Al_2O_3 in zeolites. *Zeolites* 18:54-62.
- Anwar C. 1992. Sintesis katalis zeolit untuk konversi metanol-bensin. Di dalam: Prosiding Diskusi Ilmiah VII Hasil Penelitian LEMIGAS; Jakarta, 11-13 Februari 1992. Jakarta: PPPTMGB (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi) LEMIGAS. hlm 731-745.
- Anwar C. 1993. Sintesis zeolit pentasil sebagai katalis konversi metanol-hidrokarbon [naskah publikasi]. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, Program Pascasarjana.
- Argauer RJ, Landolt GR, penemu; Mobil Oil Corporation. 14 November 1972. Crystalline zeolite ZSM-5 and method of preparing the same. *US Patent* 3,702,886.
- Baiker A. 1985. Experimental methods for the characterization of catalysts: bagian I, II, dan III. *Int. Chem. Eng.* 25:16-46.
- Ballmoos R von, Higgins JB. 1990. Collection of Simulated XRD Powder Diffraction Patterns for Zeolites. Ed ke-2. London: Butterworth-Heinemann.
- Barrer RM. 1982. Hydrothermal Chemistry of Zeolites. New York: Academic Press.
- Cullity BD. 1959. Elements of X-Ray Diffraction. London: Addison-Wesley.
- Cundy CS, Henty MS, Plaisted RJ. 1995. Investigation of Na, TPA-ZSM-5 zeolite synthesis by chemical methods. *Zeolites* 15:342-352.
- Derouane EG, Gabelica Z. 1980. A novel effect of shape selectivity: Molecular traffic control in zeolite ZSM-5. *J. Catal.* 65:486-489.
- Dixon JB, Weed SB, editor. 1989. Minerals in Soil Environments. Ed ke-2. Madison: Soil Science Society of America.
- Hamdan H. 1992. Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and



- Modifications. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- DG, Jaeger H, Wilshier KG.** 1990. Systematic intergrowth in crystals of ZSM-5 zeolite. *Zeolites* 10:571-576.
- HEPCO.** 1998. Study on natural zeolite of Hokkaido to expand its application [serial online]. <http://www.hepco.co.jp/english/research/develop/result10/sinene2.html>.
- Hidayat N R, Ong H L, Subroto E A, Priadi B.** 1999. Pengukuran kristalinitas silika berdasarkan metode difraktometer sinar-X. *Proc. ITB* 31:41-47.
- Indriani M.** 2001. Komunikasi pribadi, Juni 2001. Jakarta: Universitas Indonesia, Program Pascasarjana Material Sciences.
- Johnson WB.** 1968. Surface area and pore structure determination. Di dalam: Anderson RB, editor. *Experimental Methods in Catalytic Research*. New York: Academic Press.
- Kurniawan R.** 1994. Interkalasi polimer hidroksi aluminium ke dalam ruang antar lapisan mineral liat silikat tipe 2:1. Di dalam: *Prosiding Pertemuan Ilmiah PPPTMGB LEMIGAS*; Jakarta, 4 Oktober 1994. Jakarta: PPPTMGB LEMIGAS.
- Kubacki PA, Martens JA.** 1987. Synthesis of High-silica Aluminosilicate Zeolites. Volume 33, *Studies in Surface Science and Catalysis*. Delmon B, Yates JT, editor. Amsterdam: Elsevier Science.
- ICDD.** International Centre for Diffraction Data. 1981. *Selected Powder Diffraction Data for Minerals*. Pennsylvania: JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards), International Centre for Diffraction Data.
- Langford H van.** 1992. Structural relationships and building units in the family of 5-ring zeolites. *Zeolites* 12:114-120.
- Langford H van, Waal P van der, Bekkum H van.** 1997. Acid dealumination of ZSM-5. *Zeolites* 18:50-53.
- Levanic C, Cizmek A, Subotic B, Smit I, Stubicar M, Tonejc A.** 1995. Mechanochemistry of zeolites: bagian 3, Amorphization of zeolite ZSM-5 by ball milling. *Zeolites* 15:51-57.
- Li X, Borovkov VYu, Kazansky VB, Pelmentschikov AG, Zhidomirov GM.** 1990. On the unusual mechanism of Lewis acidity manifestation in HZSM-5 zeolites. *Zeolites* 10:668-673.
- Meier WM, Olson DH.** 1992. *Atlas of Zeolite Structure Types*. Ed ke-3. London: Butterworth-Heinemann.
- Nimz M.** 1990. Decaline conversion on mordenite. *Zeolites* 10:297-300.
- Sawa M, Niwa M, Murakami Y.** 1992. Change of pore-opening structure of mordenite upon dealumination by hydrochloric acid. *Zeolites* 12:175-179.
- Siantar DP, Millman WS, Fripiat JJ.** 1995. Structural defects and cation exchange capacity in dealuminated Y zeolites. *Zeolites* 15:556-560.
- Skoog DA, West DM.** 1980. *Principles of Instrumental Analysis*. Ed ke-2. Philadelphia: Saunders College.
- Stach H, Janchen J.** 1992. Relationship between acid-strength and framework aluminum content in dealuminated mordenites. *Zeolites* 12:152-154.
- Thomas GBJr.** 1972. *Calculus and Analytic Geometry*. London: Addison-Wesley.
- Trombetta M, Armaroli T, Alejandre AG, Solis JR, Busca G.** 2000. An FT-IR study of the internal and external surfaces of HZSM-5 zeolite. *Applied Catalysis A: General* 192:125-136.
- Tsitsishvili GV, Andronikashvili TG, Kirov GN, Filizova LD.** 1992. *Natural Zeolites*. Potashnikov IB, penerjemah; Williams PA, editor. New York: Ellis Horwood.
- Varian.** 1979. *Analytical Methods for Flame Spectroscopy*. Australia: Varian Techtron.
- Vogel AI.** 1961. *A Text-Book of Quantitative Inorganic Analysis including Elementary Instrumental Analysis*. Ed ke-3. London: Longman.
- West AR.** 1988. *Basic Solid State Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Willard HH, Merritt LLJr, Dean JA, Settle FAJr.** 1981. *Instrumental Methods of Analysis*. Ed ke-6. New York: D. van Nostrand.
- Woolery GL, Kuehl GH, Timken HC, Chester AW, Vartuli JC.** 1997. On the nature of framework Bronsted and Lewis acid sites in ZSM-5. *Zeolites* 19:288-296.
- Zeolyst International.** 2000. *Standard Zeolite Products* [serial online]. <http://www.zeolyst.com>.



LAMPIRAN



Halaman ini merupakan Unsur pendukung

1. Dihasilkan menggunakan software dan menyediakan sumber :
 - a. Perangkat lunak untuk keperluan penelitian, simulasi, pembuatan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan tesis atau tulisan untuk masalah
 - b. Perangkat lunak tidak memerlukan koneksi internet yang wajib IPB University
2. Dihasilkan menggunakan dan menggunakan software atau sumber daya lain yang dapat diakses kapan saja dan di mana saja oleh IPB University

Zeolit	Formula unit sel	Volume kosong (void volume) (%)	Parameter unit sel (nm)	Dimensi saluran (nm)	Rasio Si/Al	Densitas (Mg m ⁻³)	KTK (teoritis) (cmol _c kg ⁻¹)
Analsim	Na ₁₆ {Al ₁₆ Si ₃₂ O ₉₆ }.16H ₂ O	18	Kubik; a = 1,37	0,26	1,8-2,8	2,25	460
Kabazit	(Na ₂ Ca) ₆ {Al ₁₂ Si ₂₄ O ₇₂ }.40H ₂ O	47	Trigonal; a = 1,32, c = 1,51	0,36 x 0,37	1,6-3,0	2,05-2,10	420
Klinoptiloli	(Na ₃ K ₃){Al ₆ Si ₃₀ O ₇₂ }.24H ₂ O	34	Monoklinik; a = 1,77, b = 1,79, c = 0,74, B = 116°	0,41 x 0,47 0,44 x 0,72 0,40 x 0,55	4,3-5,3	2,16	220
Eriomit	(Na,Ca _{0,5} K) ₈ {Al ₉ Si ₂₇ O ₇₂ }.27H ₂ O	35	Heksagonal; a = 1,33, c = 1,51	0,36 x 0,52	3,0-3,5	2,02	320
Faujasit	Na ₅₈ {Al ₅₈ Si ₁₃₄ O ₃₈₄ }.240H ₂ O	47	Kubik; a = 2,47	0,74	2,25	1,91	340
Ferrierit	(Na ₂ Mg ₂){Al ₆ Si ₃₀ O ₇₂ }.18H ₂ O	28	Ortorombik; a = 1,92, b = 1,41, c = 0,75	0,43 x 0,55	5,0	2,13-2,14	230
Heulandit	Ca ₄ {Al ₈ Si ₂₈ O ₇₂ }.24H ₂ O	39	Monoklinik; a = 1,77, b = 1,79, c = 0,74, B = 116°	0,41 x 0,47 0,44 x 0,72 0,40 x 0,55	2,5-3,7	2,20	290
Laumontit	Ca ₄ {Al ₈ Si ₁₆ O ₄₈ }.16H ₂ O	34	Monoklinik; a = 0,76, b = 1,48, c = 1,31, B = 112°	0,40 x 0,56	1,8-2,3	2,30	420
Mordenit	Na ₈ {Al ₈ Si ₄₀ O ₉₆ }.24H ₂ O	28	Ortorombik; a = 1,81, b = 2,05, c = 0,75	0,67 x 0,70 0,29 x 0,57	4,2-5,0	2,13	220
Phillipsit	(Na,K) ₅ {Al ₅ Si ₁₁ O ₃₂ }.20H ₂ O	31	Monoklinik; a = 0,99, b = 1,43, c = 0,87, B = 124°	0,33 0,42 x 0,44 0,28 x 0,48	1,7-2,4	2,15	380

lampiran 3. Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-AWAL

5	14,535	6,071	0,0231	MOR*	5,230	0,0018	CLI				
6	15,345	5,791	0,0214	MOR*	5,120	0,0173	CLI				
7	16,945	5,282	0,0303	MOR*	4,654	0,0075	CLI				
8	17,365	5,133	0,0158	MOR	3,971	0,0115	CLI d2				
9	18,235	4,877	0,0117	MOR	3,910	0,0095	CLI d3				
10	19,085	4,527	0,0215	MOR* d3	3,835	0,0074	CLI				
11	19,645	4,004	0,0124	MOR	**3,740	0,0127	CLI				
12	22,305	3,9825	0,0113	MOR	**3,460	0,0036	CLI				
13	22,780	3,9005	0,0015	MOR	3,383	0,0010	CLI				
14	23,220	3,8276	0,0124	MOR d1							
15	23,690	3,7527	0,0110	MOR							
16	24,520	3,6275	0,0091	MOR d2							
17	25,700	3,4636	0,0203	MOR*							
18	26,315	3,3840	0,0122	MOR							
19	26,625	3,3453	0,0014	MOR							
20	27,735	3,2139	0,0149	MOR							
21	28,070	3,1763	0,0014	MOR							
22	28,520	3,1272	0,0122	MOR							
23	30,035	2,9728	0,0014	MOR							
24	30,330	2,9446	0,0149	MOR							
25	31,015	2,8811	0,0149	MOR							
26	31,965	2,7976	0,0103	MOR							
27	32,745	2,7327	0,0047	MOR							
28	35,005	2,5613	0,0039	MOR							
29	35,640	2,5171	0,0094	MOR							
30	36,985	2,4286	0,0017	MOR							
31	39,540	2,2773	0,0038	MOR							
32	42,555	2,1227	0,0060	MOR							
33	44,160	2,0492	0,0006	MOR							
34	45,020	2,0120	0,0006	MOR							
35	46,395	1,9556	0,0018	MOR							
36	48,370	1,8802	0,0000	MOR							
37	50,345	1,8110	0,0042	MOR							
38	50,985	1,7898	0,0002	MOR							
39	53,270	1,7182	0,0030	MOR							
40	54,060	1,6950	0,0021	MOR							
41	55,085	1,6659	0,0032	MOR							
42	56,830	1,6188	0,0017	MOR							
43	57,745	1,5953	0,0017	MOR							

* lebih dari 0,02

** sumber dari Dixon & Weed (1989)

lampiran 5. Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-T2

Analisis Kualitatif ZEO-T2

2 θ Teta	d	d MOR	Selisih MOR	Respons	d Qa	Selisih Qa	Respons
6,490	13,6082	13,581	0,0272	MOR*			
8,700	10,1557	10,265	0,1093	MOR*			
9,725	9,0875	9,055	0,0325	MOR*			
13,465	6,5706	6,584	0,0134	MOR			
14,535	6,0892	6,071	0,0182	MOR			
15,230	5,8129	5,791	0,0219	MOR*			
17,405	5,0911	5,133	0,0419	MOR*			
19,580	4,5302	4,527	0,0032	MOR			
20,765	4,2743	4,241	0,0333		4,260	0,0143	Qa d2
21,835	4,0672	4,142	0,0748	MOR*			
22,285	3,9860	4,004	0,0180	MOR d3			
23,215	3,8284	3,840	0,0116	MOR			
23,630	3,7621	3,764	0,0019	MOR			
25,635	3,4722	3,476	0,0038	MOR d1			
26,275	3,3891	3,395	0,0059	MOR			
26,485	3,3627	3,292			3,343	0,0197	Qa d1
27,495	3,2414	3,245	0,0036	MOR			
27,695	3,2185	3,223	0,0045	MOR d2			
28,315	3,1494	3,156	0,0066	MOR			
30,905	2,8911	2,894	0,0029	MOR			
32,930	2,7178	2,702	0,0158	MOR			
35,815	2,5052	2,521	0,0158	MOR			
36,755	2,4433	2,438	0,0053	MOR	2,458	0,0147	Qa
39,310	2,2901	2,279	0,0111	MOR	2,282	0,0081	Qa
42,360	2,1320	2,160	0,0280		2,128	0,0040	Qa
44,415	2,0380	2,036	0,0020	MOR			
45,105	2,0084	1,997	0,0114	MOR			
46,470	1,9526	1,955	0,0024	MOR			
48,390	1,8795	1,882	0,0025	MOR			
50,000	1,8227	1,811	0,0117	MOR	1,817	0,0057	Qa d3
50,690	1,7995	1,794	0,0055	MOR	1,801	0,0015	Qa
53,915	1,6992	1,698	0,0012	MOR			
57,315	1,6062	1,597	0,0092	MOR	1,608	0,0018	Qa

λ 0,02

Lampiran 6. Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-T21

Analisis Kualitatif ZEO-T21

2θ (Teta)	d	d MOR	Selisih MOR	Respons	d Qa	Selisih Qa	Respons
6,500	13,5873	13,581	0,0063	MOR			
8,700	10,1557	10,265	0,1093	MOR*			
9,790	9,0273	9,055	0,0277	MOR*			
13,560	6,5248	6,584	0,0592	MOR*			
15,265	5,7996	5,791	0,0086	MOR			
17,540	5,0522	5,042	0,0102	MOR			
19,620	4,5210	4,527	0,0060	MOR			
20,810	4,2651	4,241	0,0241	MOR*	4,260	0,0051	Qa d2
21,935	4,0488	4,142	0,0932	MOR*			
22,340	3,9763	4,004	0,0277	MOR* d3			
23,310	3,8130	3,840	0,0270	MOR*			
23,725	3,7473	3,764	0,0167	MOR			
25,705	3,4629	3,476	0,0131	MOR d1			
26,405	3,3727	3,395	0,0223	MOR*			
26,615	3,3466				3,343	0,0036	Qa d1
27,650	3,2236	3,223	0,0006	MOR d2			
30,965	2,8856	2,894	0,0084	MOR			
35,760	2,5089	2,521	0,0121	MOR			
36,840	2,4378	2,438	0,0002	MOR			
39,480	2,2807	2,279	0,0017	MOR	2,282	0,0013	Qa
42,515	2,1246	2,160	0,0354	MOR*	2,128	0,0034	Qa
44,510	2,0339	2,036	0,0021	MOR			
46,575	1,9484	1,950	0,0016	MOR			
48,470	1,8766	1,882	0,0054	MOR			
50,200	1,8159	1,811	0,0049	MOR	1,817	0,0011	Qa d3
50,870	1,7935	1,794	0,0005	MOR	1,801	0,0075	Qa
56,980	1,6149	1,622	0,0071	MOR	1,608	0,0069	Qa
59,925	1,5423	1,548	0,0057	MOR	1,541	0,0013	Qa

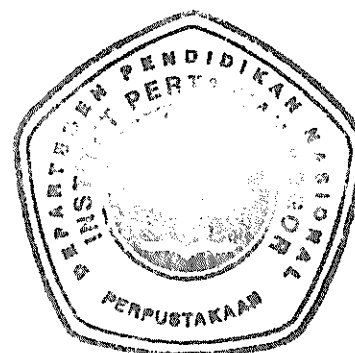
0,02

Lampiran 7. Analisis kualitatif difraktogram XRD dari ZEO-TP

Analisis Kualitatif ZEO-TP

2 Theta	d	d MOR	Selisih MOR	Respons	d Qa	Selisih Qa	Respons
6,580	13,4222	13,581	0,1588	MOR*			
8,750	10,0978	10,265	0,1672	MOR*			
9,835	8,9861	9,055	0,0689	MOR*			
13,565	6,5224	6,584	0,0616	MOR*			
15,315	5,7808	5,791	0,0102	MOR			
17,490	5,0665	5,042	0,0245	MOR*			
19,755	4,4904	4,527	0,0366	MOR*			
20,875	4,2520	4,241	0,0110	MOR	4,260	0,0080	Qa d2
21,915	4,0525	4,142	0,0895	MOR*			
22,480	3,9519	4,004	0,0521	MOR* d3			
23,310	3,8130	3,840	0,0270	MOR*			
23,720	3,7480	3,764	0,0160	MOR			
25,690	3,4649	3,476	0,0111	MOR d1			
26,380	3,3758	3,395	0,0192	MOR			
26,640	3,3435				3,343	0,0005	Qa d1
27,800	3,2065	3,223	0,0165	MOR d2			
30,960	2,8861	2,894	0,0079	MOR			
35,945	2,4964	2,521	0,0246	MOR*			
36,825	2,4388	2,438	0,0008	MOR			
39,445	2,2826	2,279	0,0036	MOR			
42,465	2,1270	2,160	0,0330	MOR*	2,128	0,0010	
44,470	2,0356	2,036	0,0004	MOR			
46,550	1,9494	1,955	0,0056	MOR			
48,520	1,8748	1,882	0,0072	MOR			
50,225	1,8150	1,811	0,0040	MOR	1,817	0,0020	Qa d3
50,860	1,7939	1,794	0,0001	MOR	1,801	0,0071	Qa

ri 0,02



lampiran 8. Analisis kuantitatif difraktogram XRD dari semua sampel

Rumus : Lebar puncak pada $I_{maks} \times I_{maks}$

ZEO-AWAL

$$MOR = 0,16 \times 1552 = 248,32 \rightarrow 71,43\% \pm 5\%$$

$$CLI = 0,12 \times 645 = 77,40 \rightarrow 22,27\% \pm 5\%$$

$$Qa = 0,10 \times 219 = \frac{21,90}{347,62} \rightarrow 6,30\% \pm 5\%$$

ZEO-T1

$$MOR = 0,22 \times 1875 = 412,50 \rightarrow 70,21\% \pm 5\%$$

$$CLI = 0,20 \times 713 = 142,60 \rightarrow 24,27\% \pm 5\%$$

$$Qa = 0,10 \times 324 = \frac{32,40}{587,50} \rightarrow 5,51\% \pm 5\%$$

ZEO-T2

$$MOR = 0,20 \times 1632 = 326,40 \rightarrow 86,08\% \pm 5\%$$

$$Qa = 0,08 \times 660 = \frac{52,80}{379,20} \rightarrow 13,92\% \pm 5\%$$

ZEO-T21

$$MOR = 0,20 \times 1354 = 270,80 \rightarrow 87,50\% \pm 5\%$$

$$Qa = 0,06 \times 645 = \frac{38,70}{309,50} \rightarrow 12,50\% \pm 5\%$$

ZEO-TP

$$MOR = 0,24 \times 1109 = 266,16 \rightarrow 81,54\% \pm 5\%$$

$$Qa = 0,12 \times 502 = \frac{60,24}{326,40} \rightarrow 18,46\% \pm 5\%$$

ZEO-AwalT (sebagai perbandingan)

$$MOR = 0,18 \times 1246 = 224,28 \rightarrow 56,67\% \pm 5\%$$

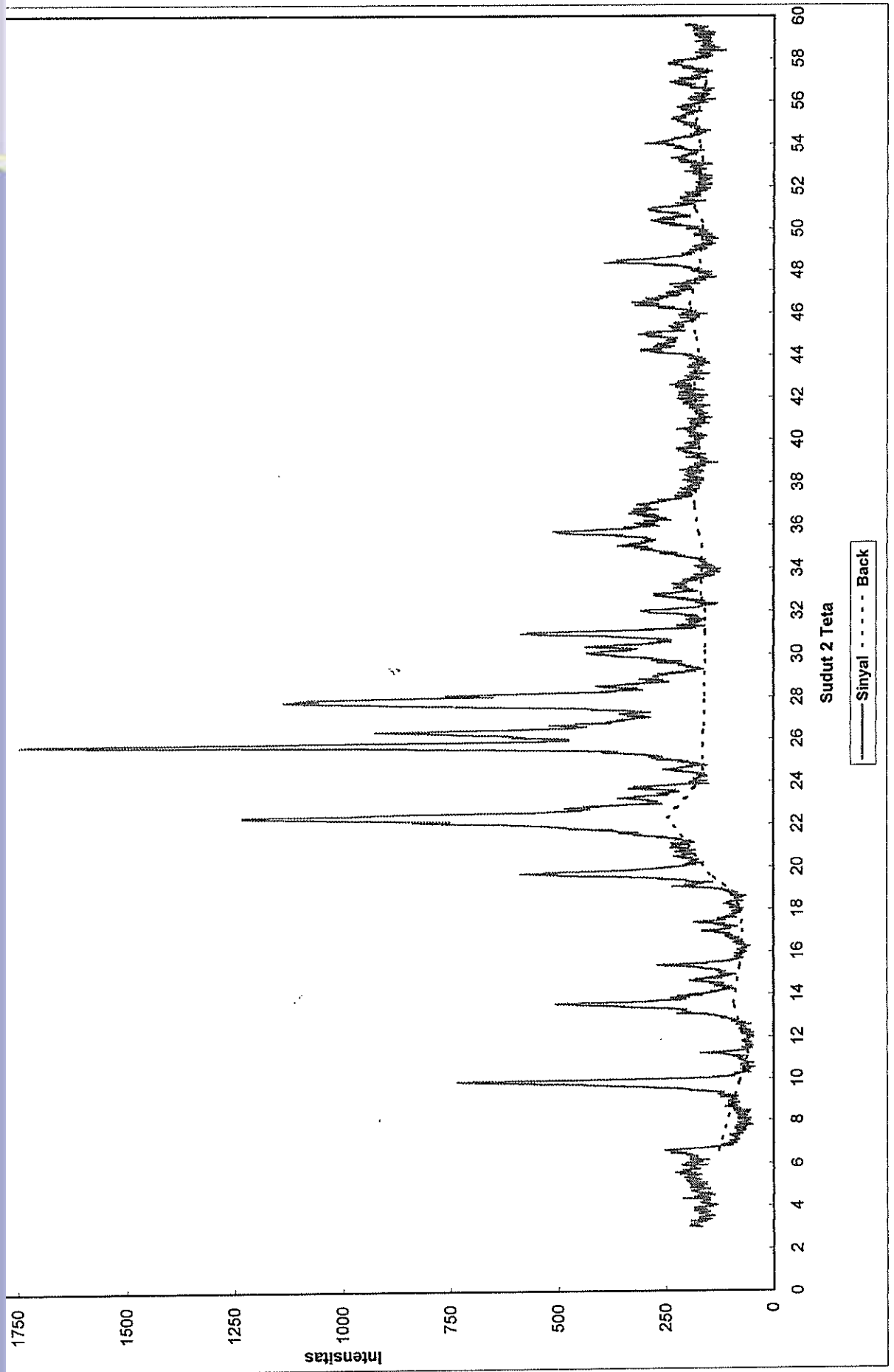
$$CLI = 0,10 \times 576 = 57,60 \rightarrow 14,55\% \pm 5\%$$

$$Qa = 0,12 \times 949 = \frac{113,88}{395,76} \rightarrow 28,78\% \pm 5\%$$

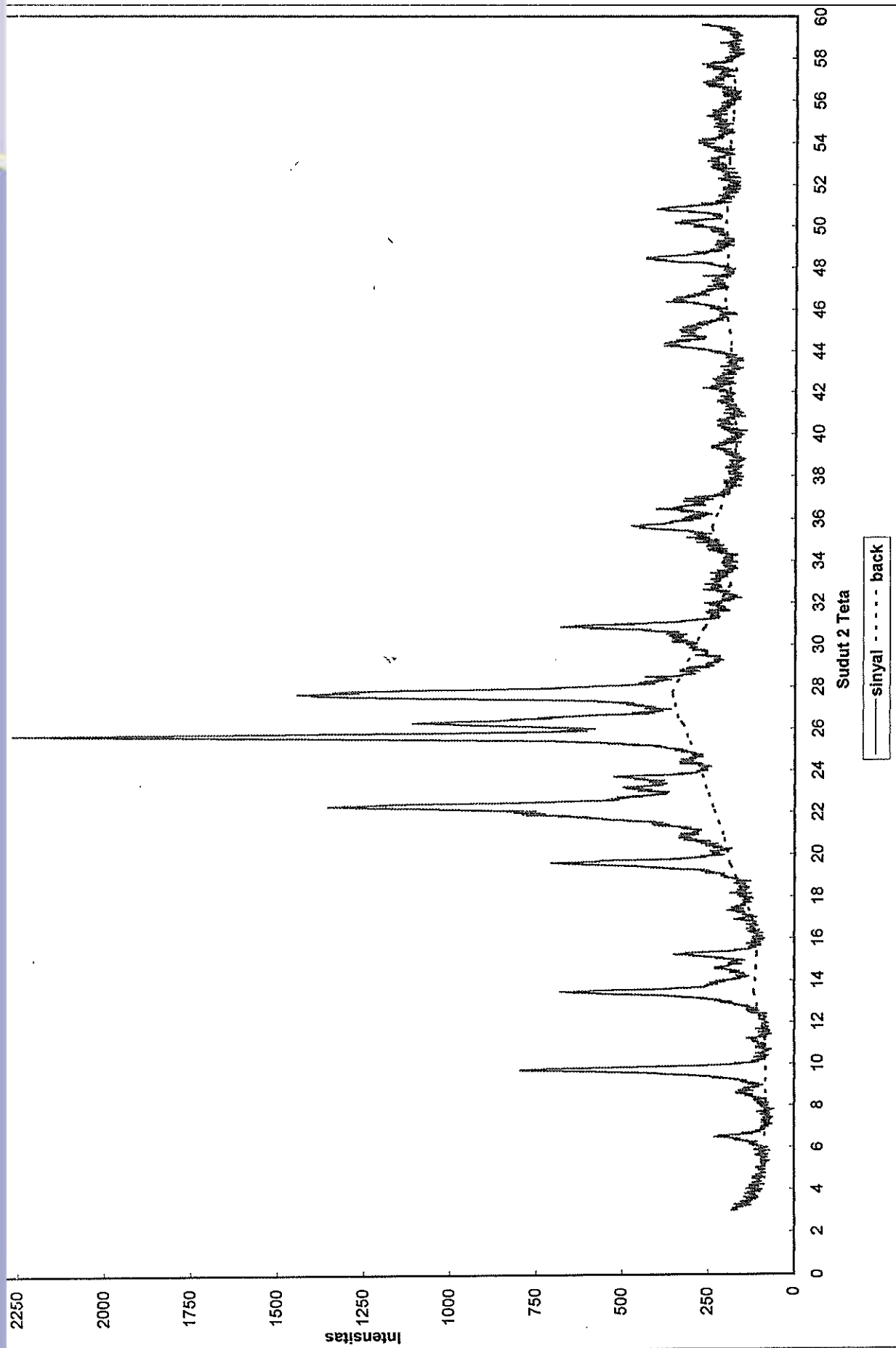
MOR = mordenit

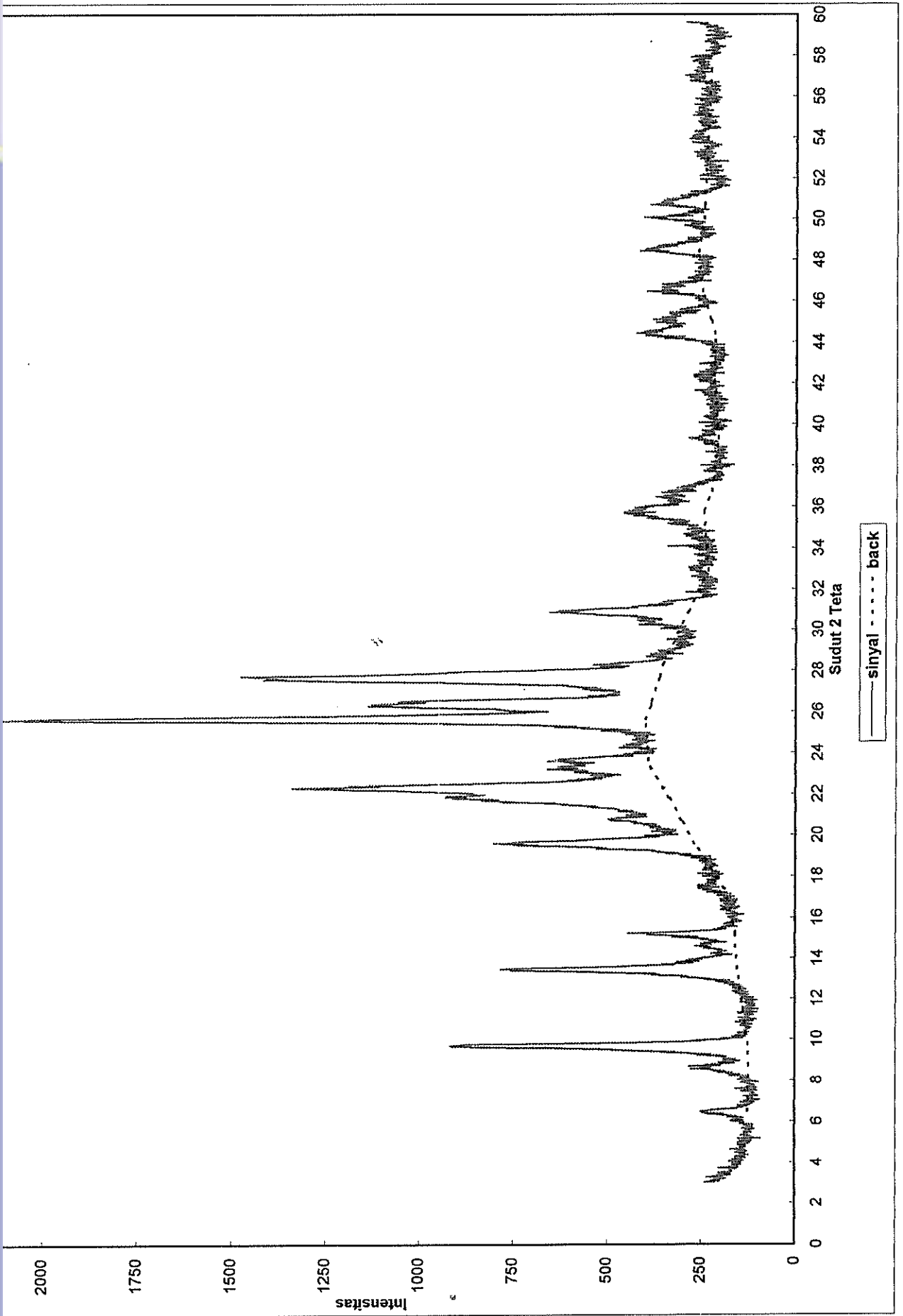
CLI = klinoptilolit

Qa = Kuarsa α

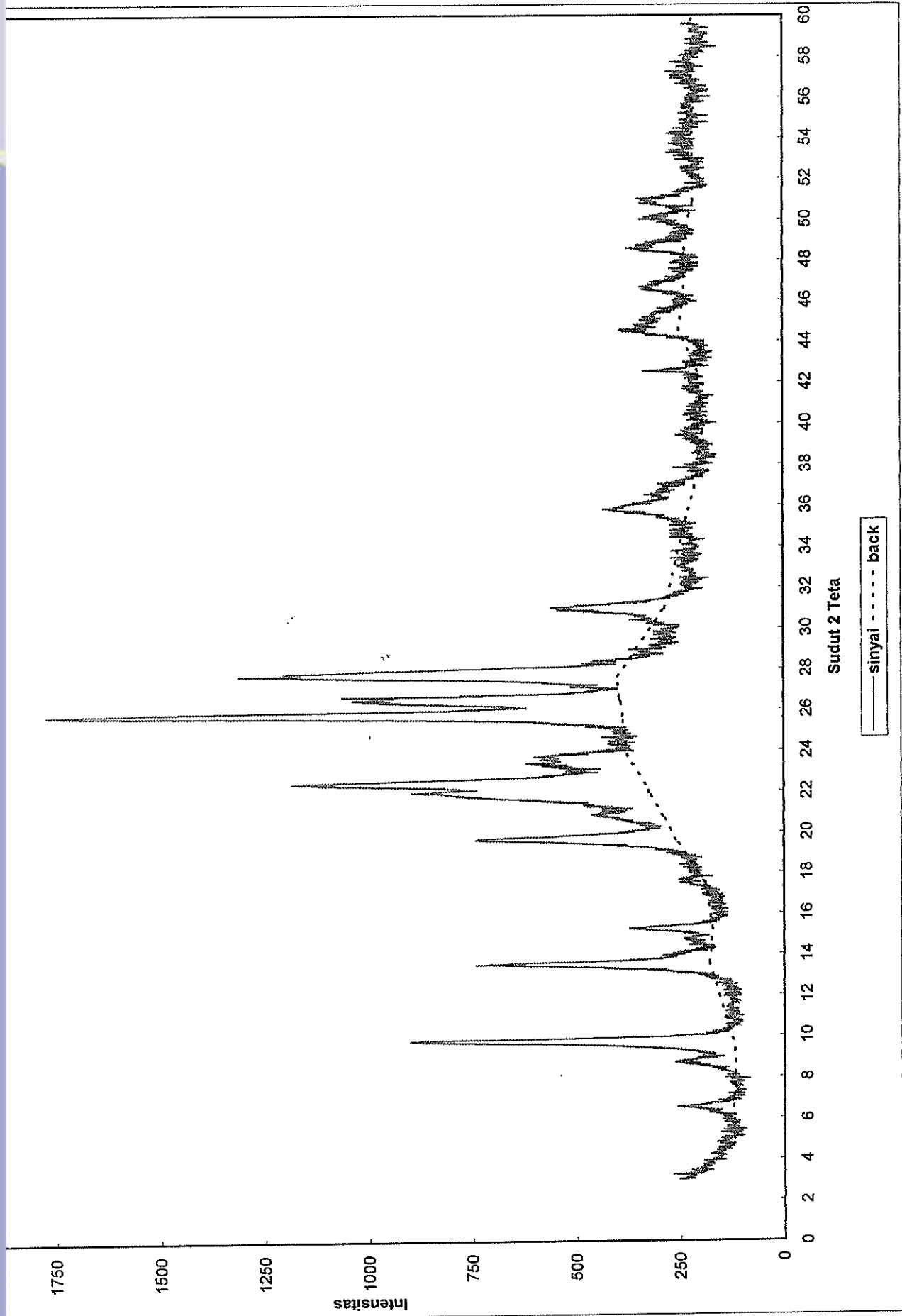


mpiran 11. Difraktogram dari ZEO-T1

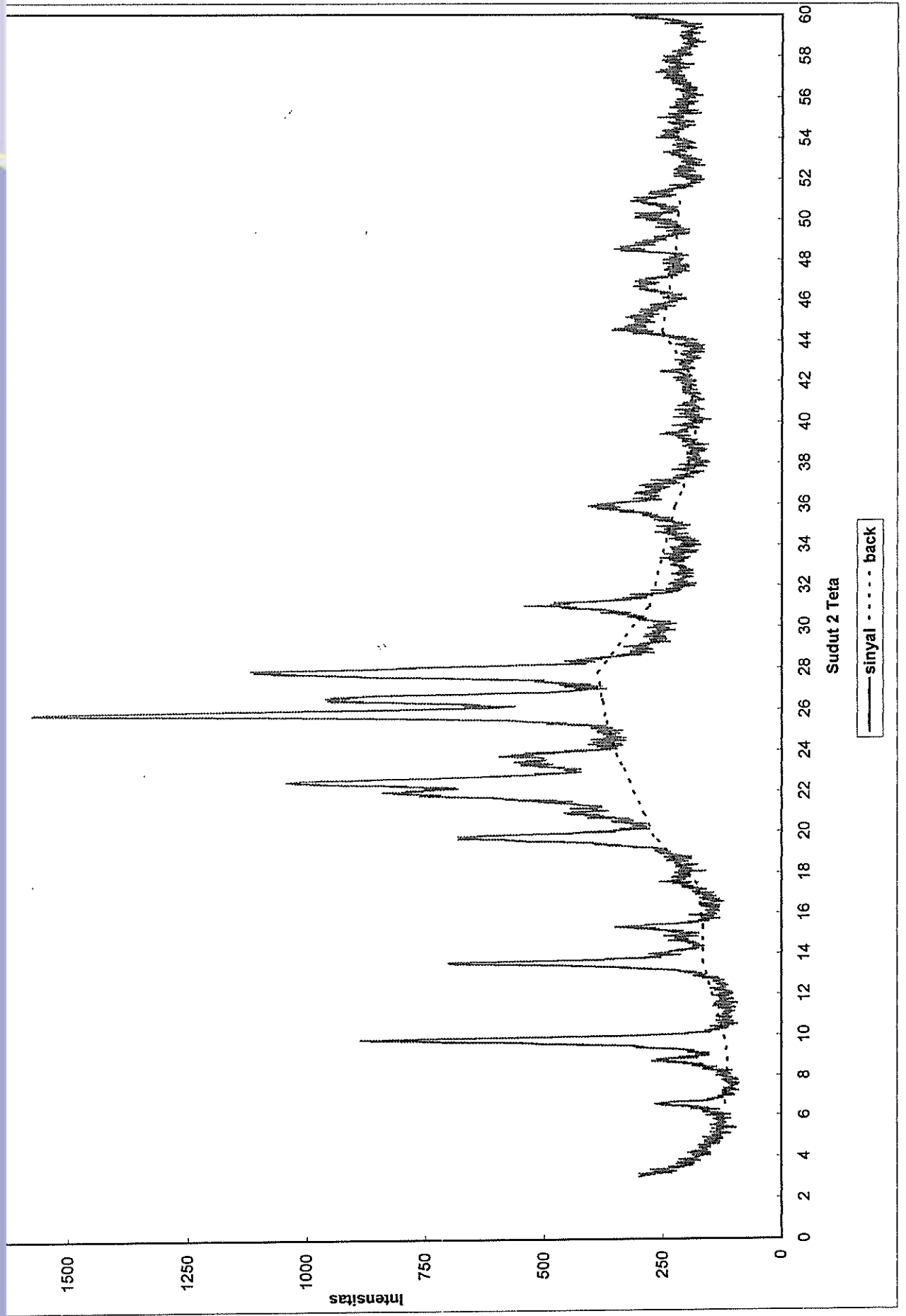




Lampiran 13. Difraktogram dari ZEO-T21



Lampiran 14. Difraktogram dari ZEO-TP



G Hick cipu miter IPB University

IPB University



Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.
 1. Diizinkan untuk digunakan sebagai referensi akademik.
 2. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.
 3. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.
 4. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.
 5. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.
 6. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.
 7. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.
 8. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.
 9. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.
 10. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi akademik dengan izin IPB University.

Lampiran 15. Contoh keluaran dari difraktometer

.DI

31-may-2001 8:13

Sample identification: ZEOLIT T-21
Data measured at: 14-may-2001 13:46:00

Diffractometer type: PW1710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 35
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: AUTOMATIC
Irradiated length [mm]: 12
Receiving slit: 0.2
Spinner: ON
Monochromator used: YES

Start angle [$^{\circ}2\theta$]: 3.010
End angle [$^{\circ}2\theta$]: 59.950
Step size [$^{\circ}2\theta$]: 0.020
Maximum intensity: 1376.410
Time per step [s]: 1.250
Type of scan: CONTINUOUS

Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 1.00
Minimum significance: 1.00
Number of peaks: 27

h	k	l	d-value [Å]	Peak width [$^{\circ}2\theta$]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
873	13.6207	0.200	108	123	7.9	2.23		
557	10.1807	0.240	130	117	9.4	2.52		
273	9.0495	0.100	762	123	55.3	2.76		
248	6.5408	0.160	462	180	33.6	5.18		
996	5.8139	0.200	188	172	13.6	3.03		
522	5.0646	0.320	41	190	3.0	1.19		
210	4.5322	0.160	454	259	33.0	3.13		
651	4.2756	0.240	156	289	11.4	2.85		
488	4.0588	0.160	548	324	39.8	1.16		
763	3.9861	0.120	784	331	57.0	1.04		
130	3.8224	0.240	219	361	15.9	1.37		
473	3.7565	0.240	188	376	13.6	3.77		
616	3.4701	0.200	1376	388	100.0	10.31		
847	3.3930	0.200	552	392	40.1	1.78		
484	3.3566	0.060	600	396	43.6	2.83		
202	3.2281	0.280	882	400	64.1	7.71		
856	2.8927	0.360	243	286	17.7	8.14		
089	2.5151	0.120	196	228	14.2	1.05		
378	2.4438	0.480	66	213	4.8	1.32		
807	2.2863	0.640	31	193	2.3	3.33		
246	2.1298	0.080	125	204	9.1	1.20		

Lampiran 16. Contoh database dari JCPDS

29-1257

d	9.06	4.00	3.48	13.6	(Na ₂ ,Ca,K ₂) ₄ (Al ₈ Si ₄₀ O ₉₆)·28H ₂ O							
1/l ₁	100	70	45	18	Sodium Potassium Calcium Aluminum Silicate Hydrate				Mordenite			
Rad. CuKα ₁	λ	1.5405	Filter Ni	Dia.		d A	1/l ₁	hkl	d A	1/l ₁	hkl	
Cut off	1/l ₁	Diffractometer		1/l ₁ cor.		13.6	18	110	3.39	35	350+	
Ref.	Passaglia, E., Contrib. Mineral. Petrol., 50		65 (1975)			10.3	5	020	3.29	3	222+	
						9.06	100	200	3.22	40	511+	
						6.59	14	111	3.20	35	530+	
						6.40	17	130	3.16	2	312	
						6.07	4	021	3.10	4b	061,441	
						5.80	18	310	3.03	1	042	
						4.88	3	131	3.02	2	600	
						4.60	2	311	2.942	5	261+	
						4.53	30	330	2.895	13	402+	
						4.46	2	240	2.741	2	152+	
						4.15	8	420+	2.715	2	550	
						4.00	70	150+	2.701	5	171+	
						3.84	7	241+	2.633	3	370+	
						3.77	4	002+	2.588	1	512	
						3.63	3	421+	2.565	10	080+	
						3.57	4	510+	2.521	7	352+	
						3.53	2	022+	2.459	4	641	
						3.48	45	202+	2.436	2b	532,262	
						3.42	11	060+	2.294	1	622+	
See following card												

29-1257A

d	9.06	4.00	3.48	13.6	(Na ₂ ,Ca,K ₂) ₄ (Al ₈ Si ₄₀ O ₉₆)·28H ₂ O							
1/l ₁	100	70	45	18	Sodium Potassium Calcium Aluminum Silicate Hydrate				Mordenite			
Rad. λ			Filter	Dia.		d A	1/l ₁	hkl	d A	1/l ₁	hkl	
Cut off	1/l ₁			1/l ₁ cor.		2.279	1	570	1.795	3	713+	
Ref.						2.263	1	800	1.697	2	880	
						2.232	2	480+	1.667	2	0121	
						2.166	2b	661	1.598	2	843	
						2.117	1	082+	1.547	2	882	
						2.052	7	0100+	1.528	4b	593,1150+	
						2.035	2	732+	1.479	2	1080	
						2.019	2	443+	1.447	4	5130	
						1.997	2	841+				
						1.974	<1	533,263				
						1.954	5	.680+				
						1.935	3	911				
						1.932	3	930,590				
						1.920	2	482				
						1.882	4	004+				
						1.878	2	771				
						1.864	<1	114				
						1.851	<1	110				
						1.811	10	1000+				
						1.807	6	950				
See preceding card												



Girik Cipta milik IPB University

This Card Provided by Universitas Indonesia
 1. Untuk lebih jelasnya mengenai data yang tertera pada database ini, anda dapat mengunjungi dan mengunduh website
 2. Untuk keperluan pengujian laboratorium, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait untuk penuntunannya.
 3. Untuk keperluan penelitian yang berkaitan dengan topik ini, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait.
 4. Untuk keperluan penelitian yang berkaitan dengan topik ini, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait.
 5. Untuk keperluan penelitian yang berkaitan dengan topik ini, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait.
 6. Untuk keperluan penelitian yang berkaitan dengan topik ini, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait.
 7. Untuk keperluan penelitian yang berkaitan dengan topik ini, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait.
 8. Untuk keperluan penelitian yang berkaitan dengan topik ini, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait.
 9. Untuk keperluan penelitian yang berkaitan dengan topik ini, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait.
 10. Untuk keperluan penelitian yang berkaitan dengan topik ini, anda dapat menghubungi para ahli di lembaga terkait.

Lampiran 17. Contoh database dari Atlas Zeolit

Mordenite

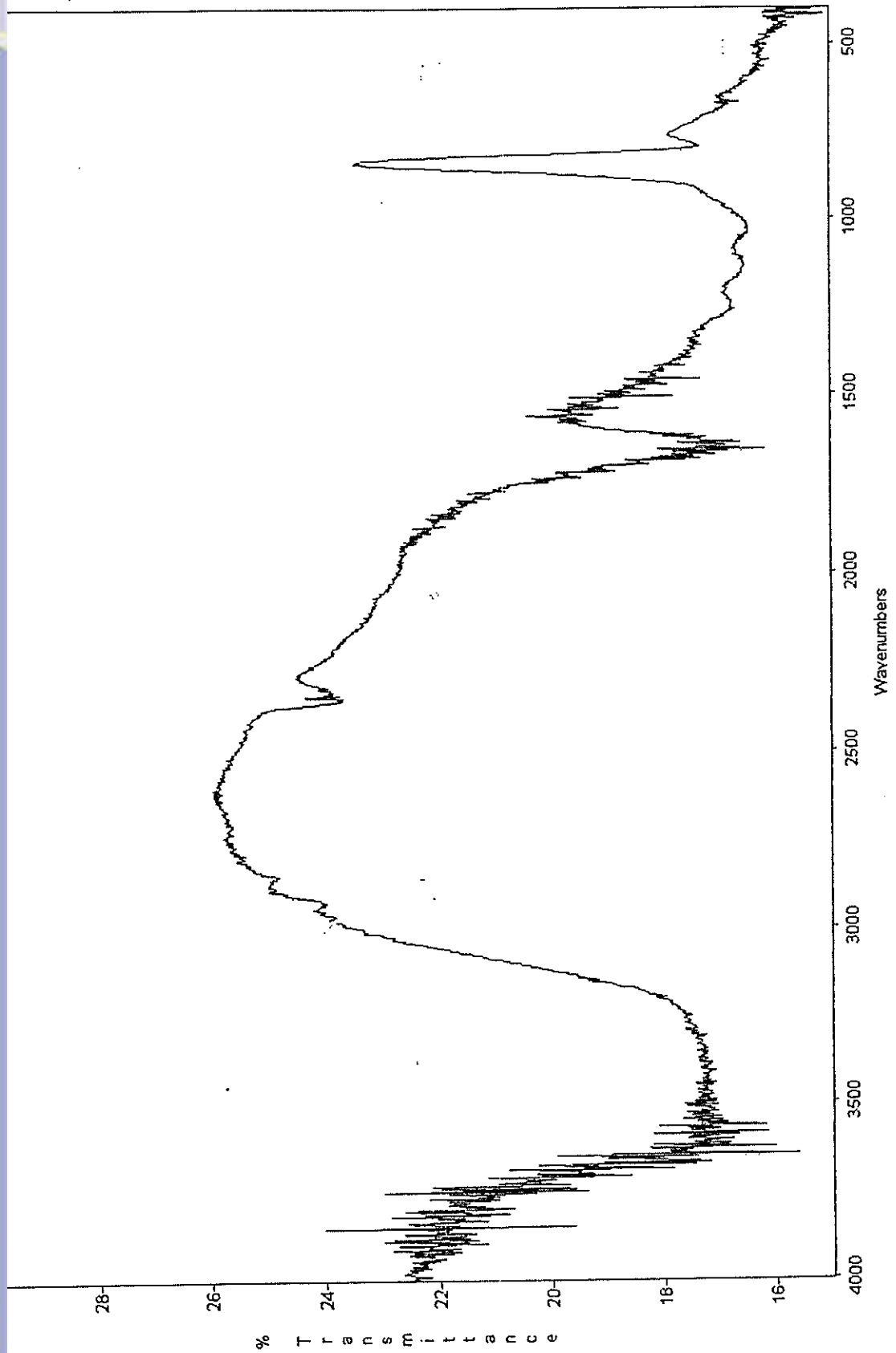
COMPOSITION: $\text{Na}_8\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}(\text{H}_2\text{O})_{24}$
Challis, Idaho, USA

CRYSTAL DATA: Orthorhombic Cmcm (63)
a = 18.11 b = 20.53 c = 7.528
 $\alpha = 90.00 \beta = 90.00 \gamma = 90.00$
X-ray single crystal refinement R = 0.07

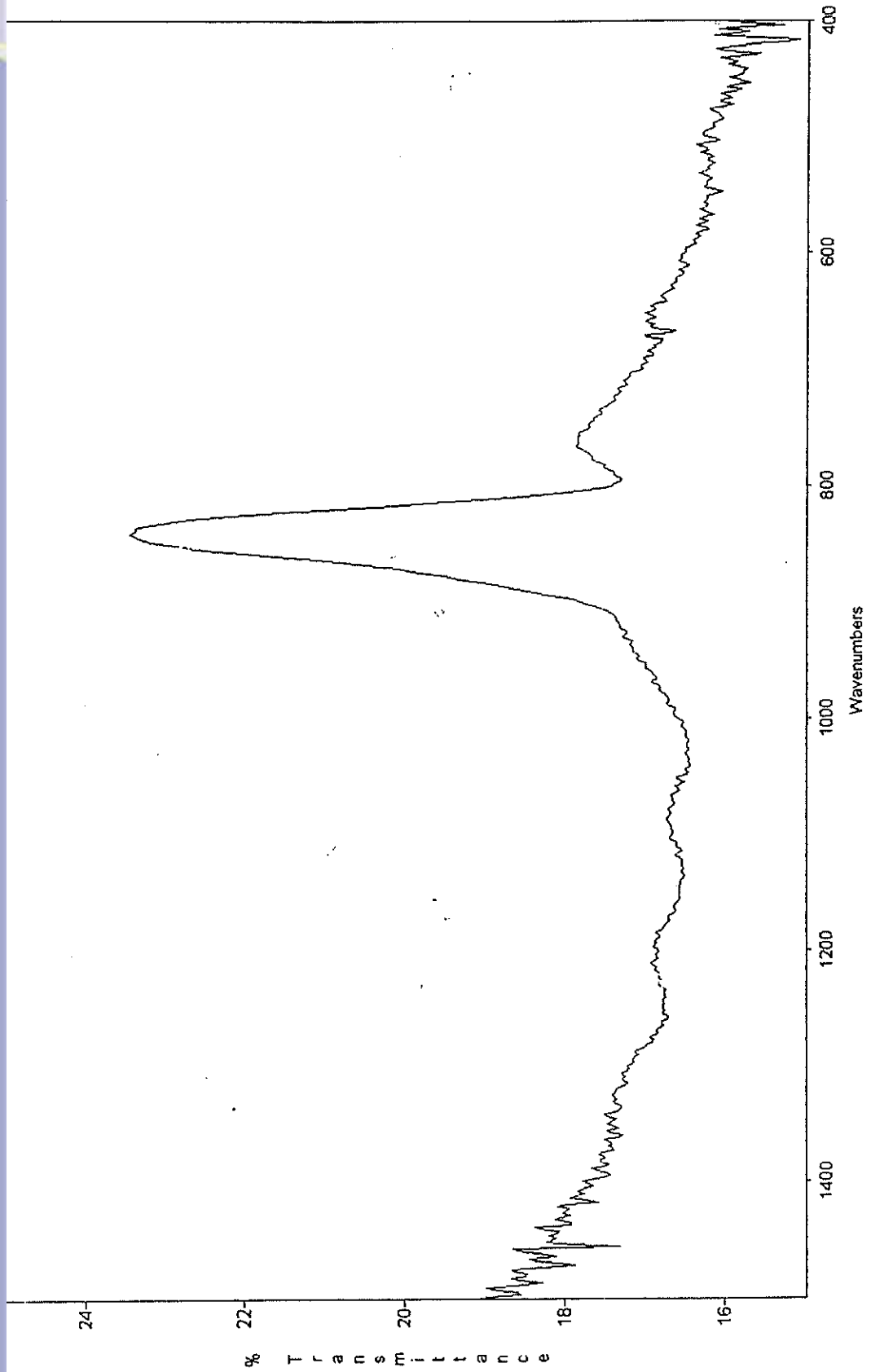
REFERENCE: V. Gramlich
PhD Dissertation, ETH, Zurich (1971)
and personal communication

	I rel	h	k	l	2 θ	d	I rel	h	k	l	2 θ	d	I rel	h	k	l
81	100.0 ✓	1	1	0	28.66	3.115	3.1	0	6	1	45.96	1.975	0.6	2	6	3
65	14.9	0	2	0	28.85	3.095	3.3	4	4	1	46.45	1.955	6.4	6	8	0
55	58.5 ✓	2	0	0	30.35	2.946	5.4	2	6	1	46.58	1.950	0.6	5	7	2
84	38.9 ✓	1	1	1	30.88	2.896	1.7	6	2	0	46.95	1.935	1.4	9	1	1
02	26.2	1	3	0	30.90	2.894	11.2	4	0	2	47.07	1.930	0.8	9	3	0
71	11.6	0	2	1	30.90	2.894	7.4	3	3	2	47.34	1.920	4.8	4	8	2
91	8.7	3	1	0	32.65	2.743	2.6	1	5	2	47.97	1.896	0.6	6	2	3
33	0.6	0	4	0	33.15	2.703	2.6	6	2	1	47.98	1.896	1.0	1	7	3
42	2.6	2	2	1	33.15	2.702	5.2	1	7	1	48.09	1.892	0.8	7	5	2
77	3.8	1	3	1	33.98	2.638	1.4	3	7	0	48.36	1.882	8.6	0	0	4
90	3.3	3	1	1	34.97	2.566	4.6	0	8	0	48.70	1.870	2.1	5	9	1
28	1.1	4	0	0	35.61	2.521	0.5	4	4	2	48.86	1.864	1.1	1	1	4
27	20.4	3	3	0	35.61	2.521	13.1	3	5	2	50.39	1.811	4.6	10	0	0
65	0.6	2	4	0	36.39	2.469	0.9	2	8	0	50.64	1.803	1.0	1	11	1
41	1.4	0	4	1	36.41	2.468	1.0	1	1	3	50.89	1.794	6.8	7	1	3
42	4.5	4	2	0	36.54	2.459	5.2	6	4	1	52.67	1.738	0.9	4	0	4
04	39.4 ✓	1	5	0	36.86	2.439	0.9	5	3	2	53.11	1.725	1.6	7	7	2
80	0.7	3	3	1	36.86	2.438	1.8	2	6	2	53.33	1.718	1.8	9	3	2
40	14.2	2	4	1	38.54	2.336	0.7	1	3	3	53.48	1.713	0.5	4	2	4
64	6.7	0	0	2	39.54	2.279	1.0	5	7	0	53.82	1.703	0.8	1	5	4
29	3.6	4	2	1	40.40	2.233	2.0	4	8	0	54.02	1.698	1.9	8	8	0
67	1.9	5	1	0	41.27	2.188	1.6	2	4	3	54.38	1.687	1.6	5	7	3
34	3.9	0	2	2	41.67	2.168	0.9	6	6	1	55.04	1.668	0.7	7	9	1
76	68.5 ✓	2	0	2	41.82	2.160	1.7	3	7	2	55.05	1.668	2.0	0	12	1
22	4.5	0	6	0	44.11	2.053	4.7	0	10	0	55.86	1.646	0.6	3	5	4
95	39.8 ✓	3	5	0	44.11	2.053	0.8	3	9	1	56.74	1.622	2.6	5	3	4
92	4.2	2	2	2	44.13	2.052	0.6	5	1	3	57.71	1.597	3.9	8	4	3
45	11.2	1	3	2	44.51	2.036	3.2	7	3	2	59.34	1.557	0.7	0	12	2
23	42.8 ✓	5	1	1	44.92	2.018	4.6	4	4	3	59.76	1.548	3.9	8	8	2
01	26.5	5	3	0	45.42	1.997	2.8	8	4	1						
56	3.5	3	1	2	45.95	1.975	0.7	5	3	3						

Lampiran 18. Keluaran FTIR dari ZEO-AWAL



Lanjutan Lampiran 18

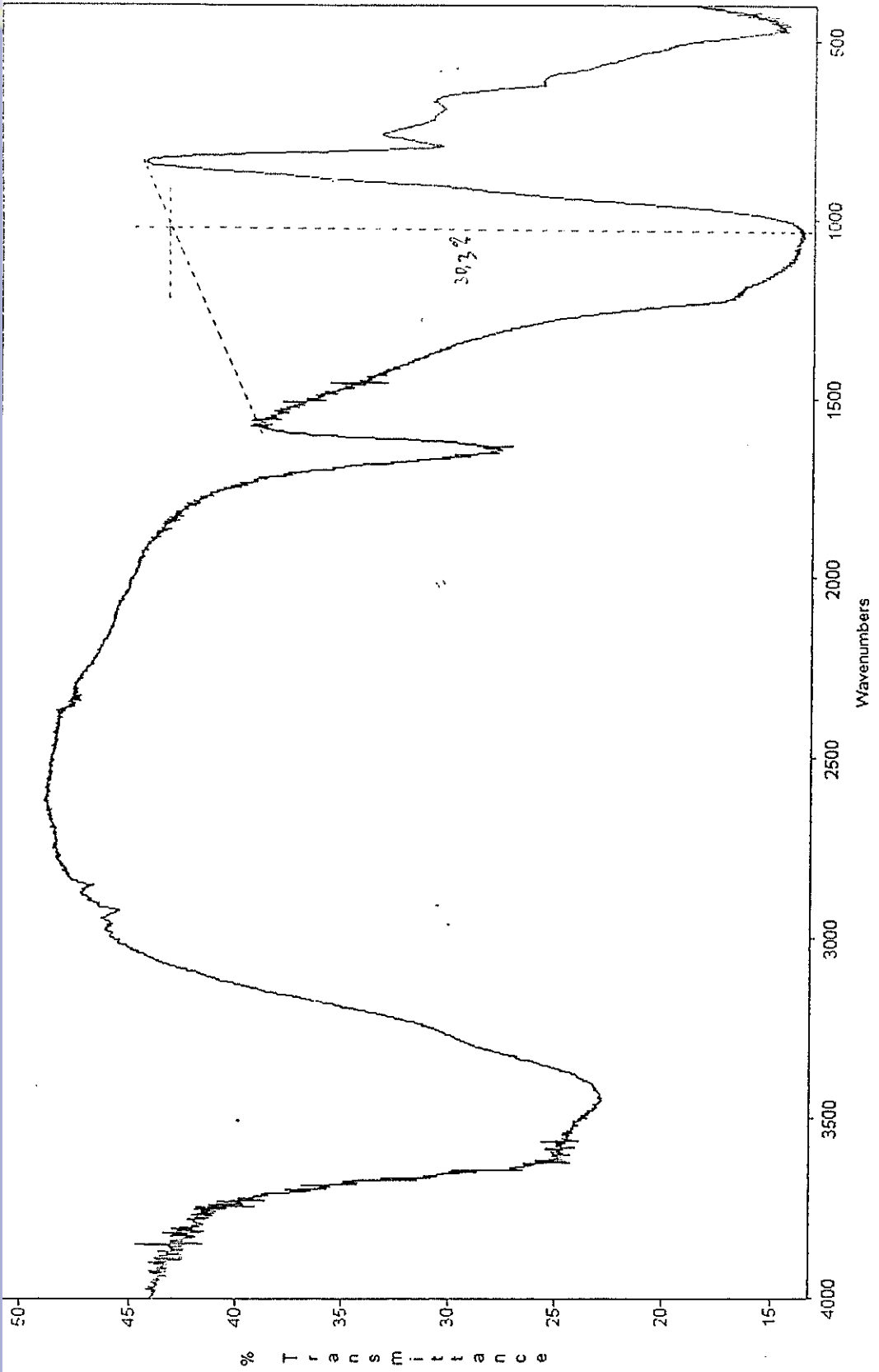


G Hick cipu miter IPB University

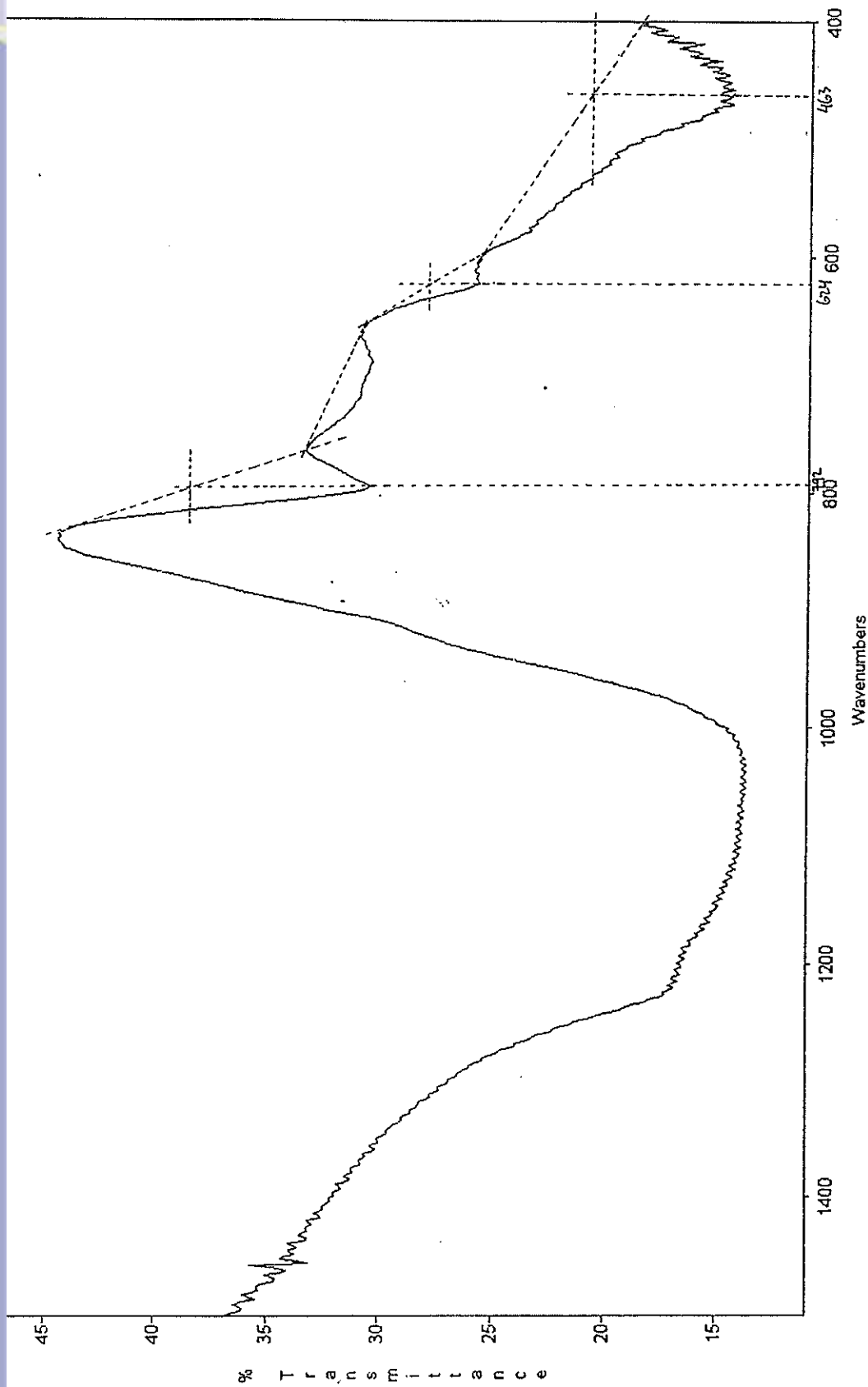
IPB University

Halaman 18 dari 18
1. Diambil sebagai bagian dari penelitian yang dilakukan oleh dosen pembimbing dan mahasiswa.
2. Diperoleh dengan izin dari dosen pembimbing dan mahasiswa.
3. Diperoleh dengan izin dari dosen pembimbing dan mahasiswa.
4. Diperoleh dengan izin dari dosen pembimbing dan mahasiswa.
5. Diperoleh dengan izin dari dosen pembimbing dan mahasiswa.

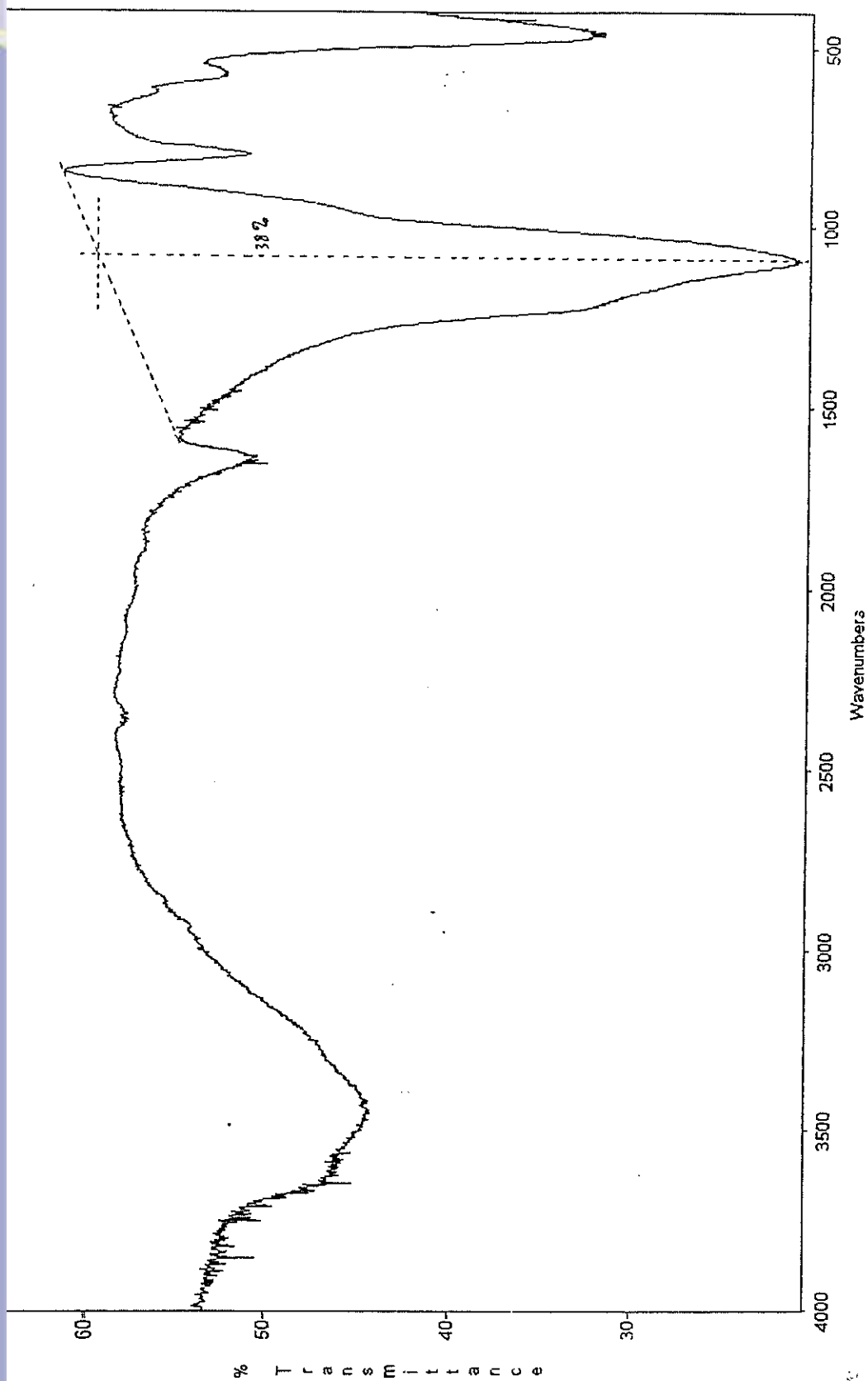
Lampiran 19. Keluaran FTIR dari ZEO-T1



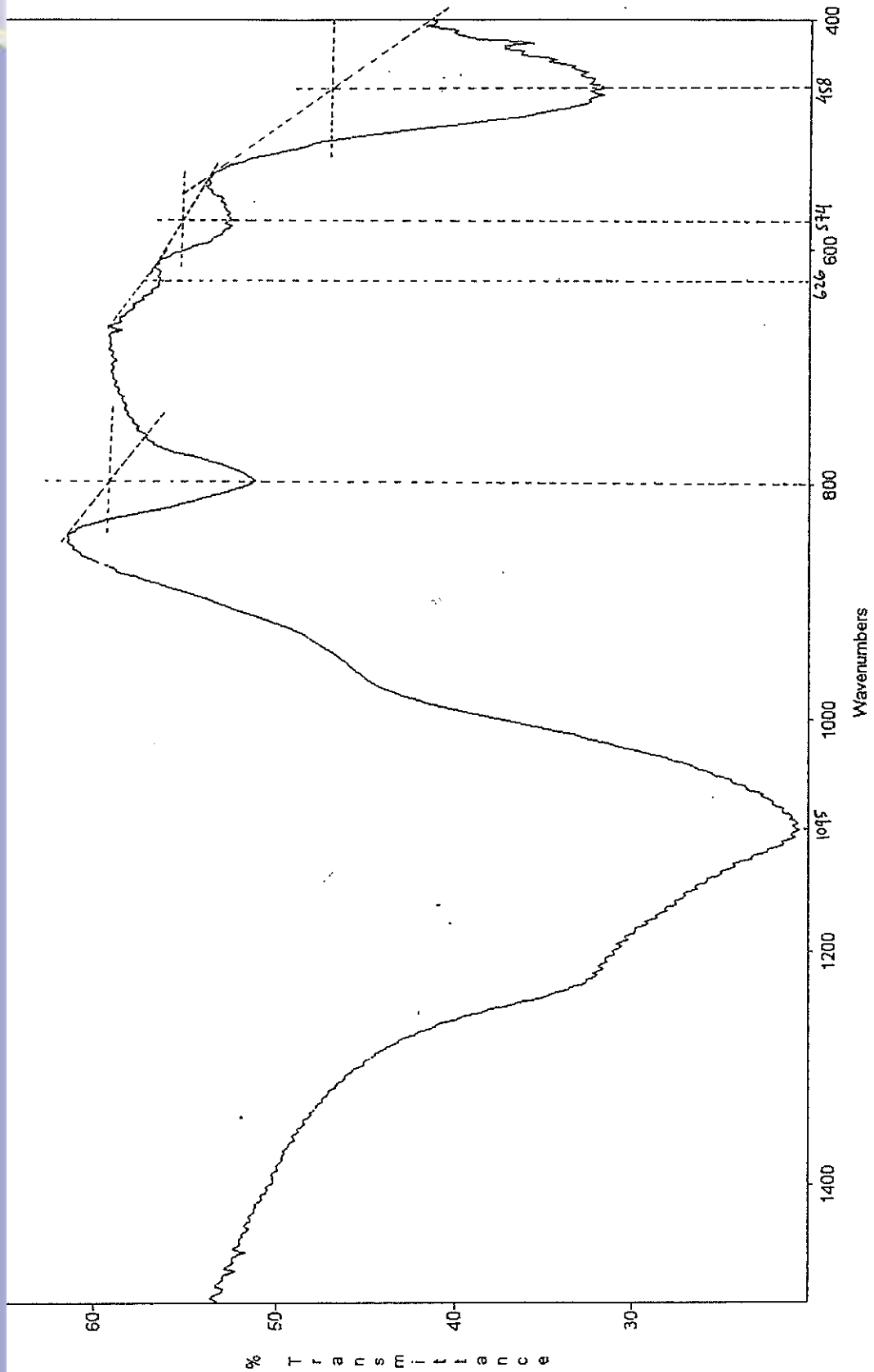
Lanjutan Lampiran 19



Lampiran 20. Keluaran FTIR dari ZEO-T2



Lanjutan Lampiran 20



Glick optik milik IPB University

IPB University



Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.

1. Diizinkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

2. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

3. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

4. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

5. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

6. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

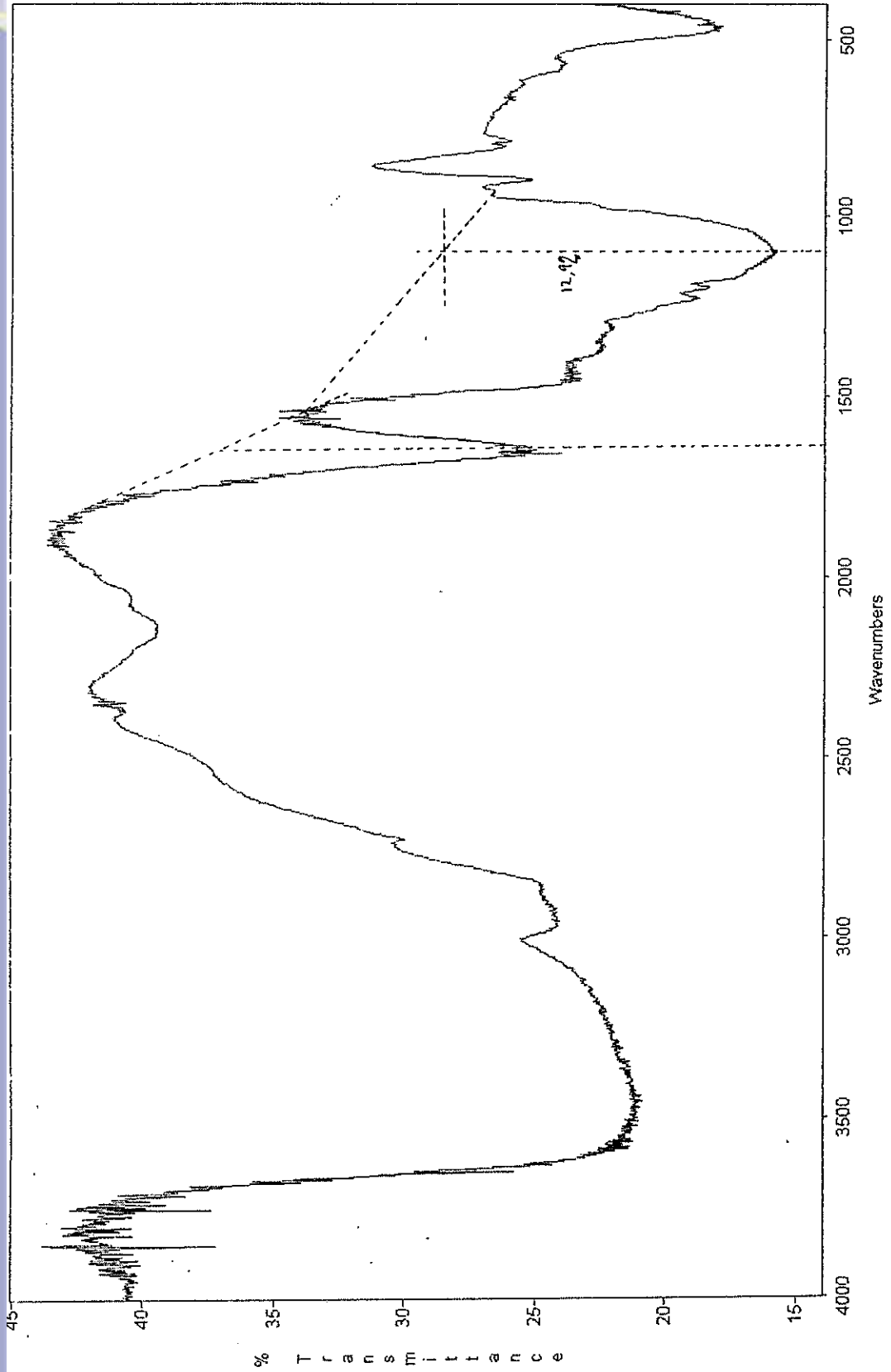
7. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

8. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

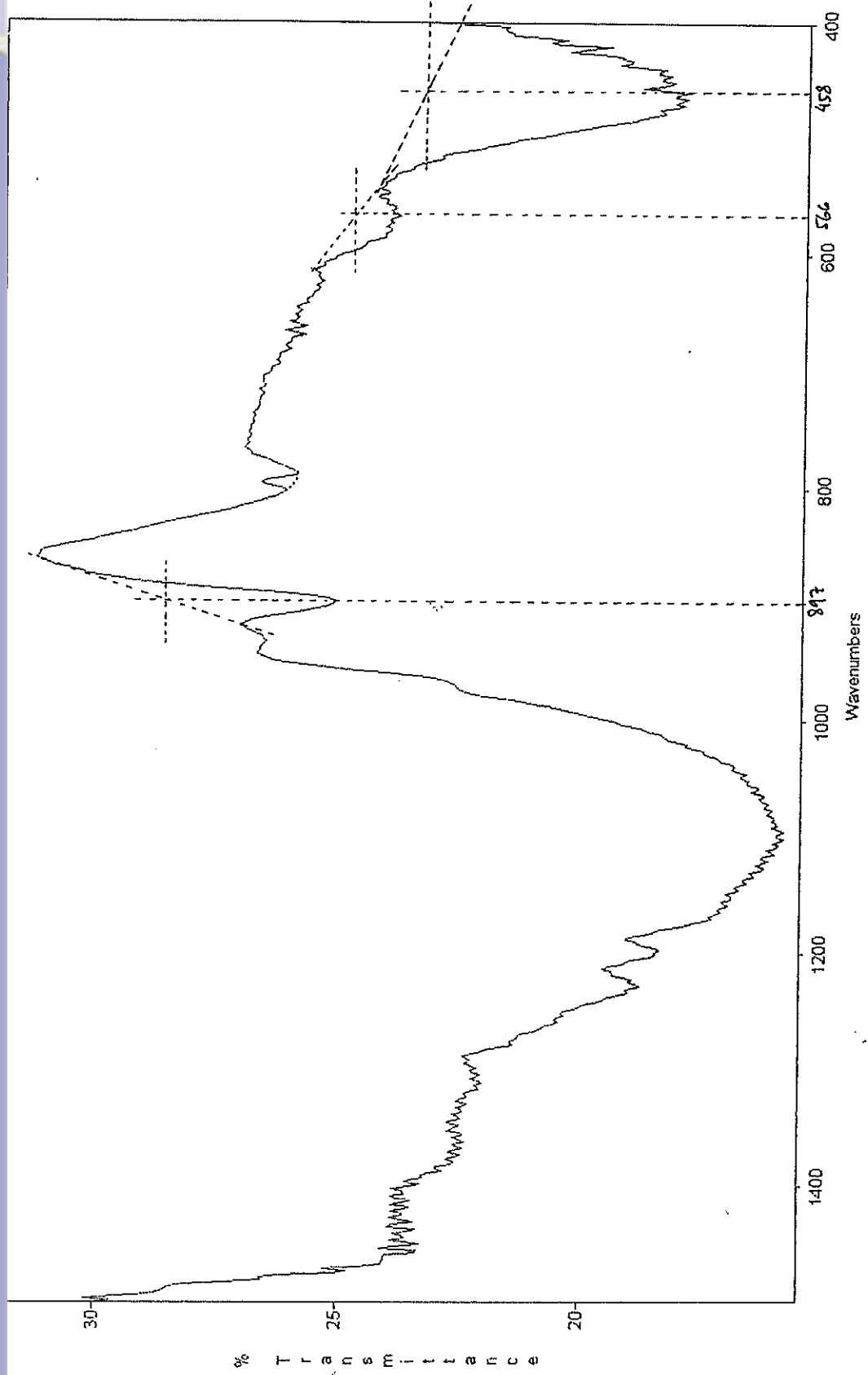
9. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

10. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dalam penelitian akademik.

Lampiran 21. Keluaran FTIR dari ZEO-T21



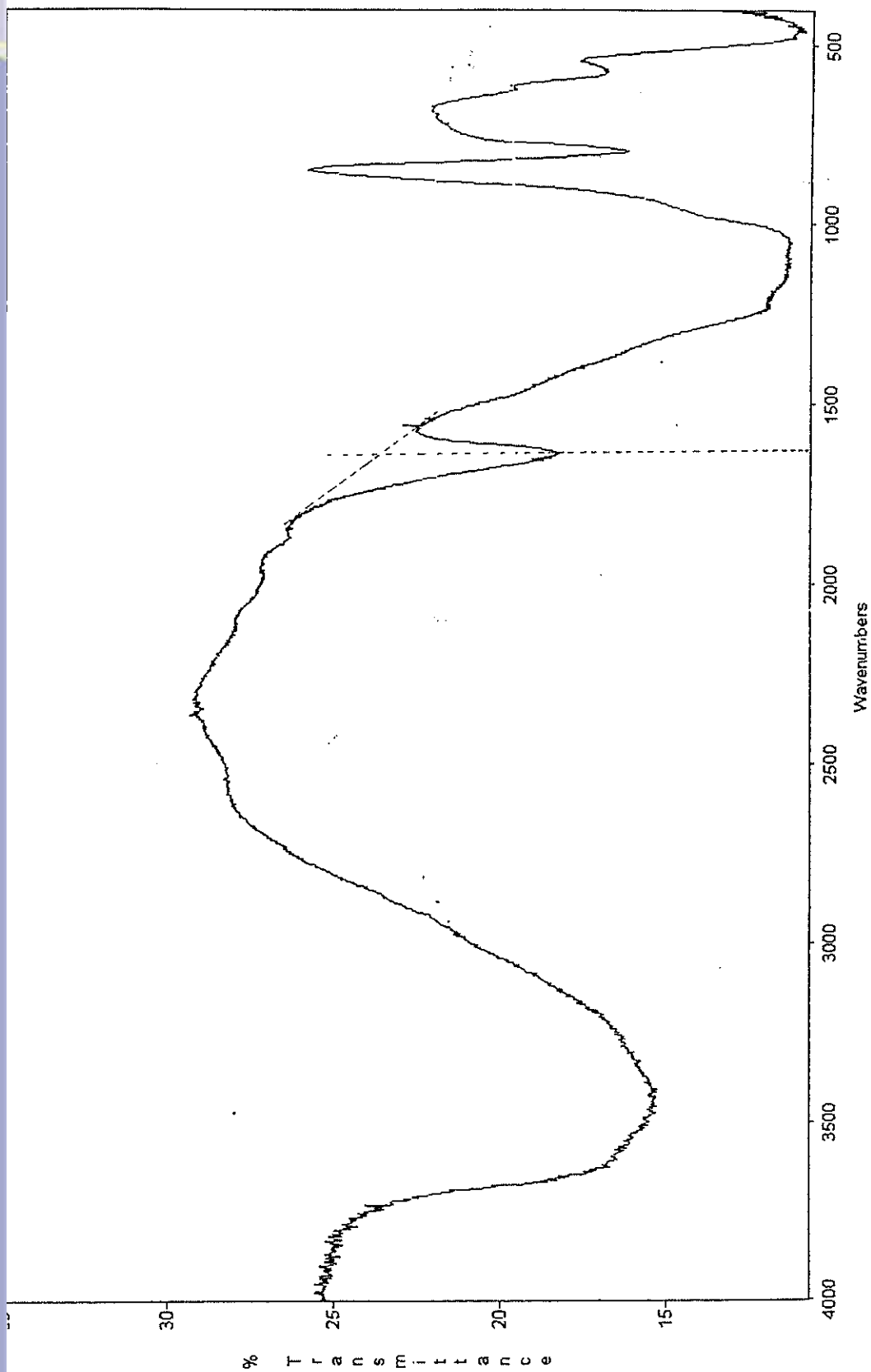
Lanjutan Lampiran 21



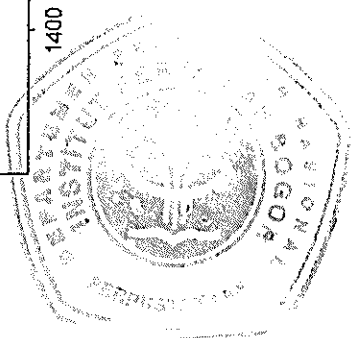
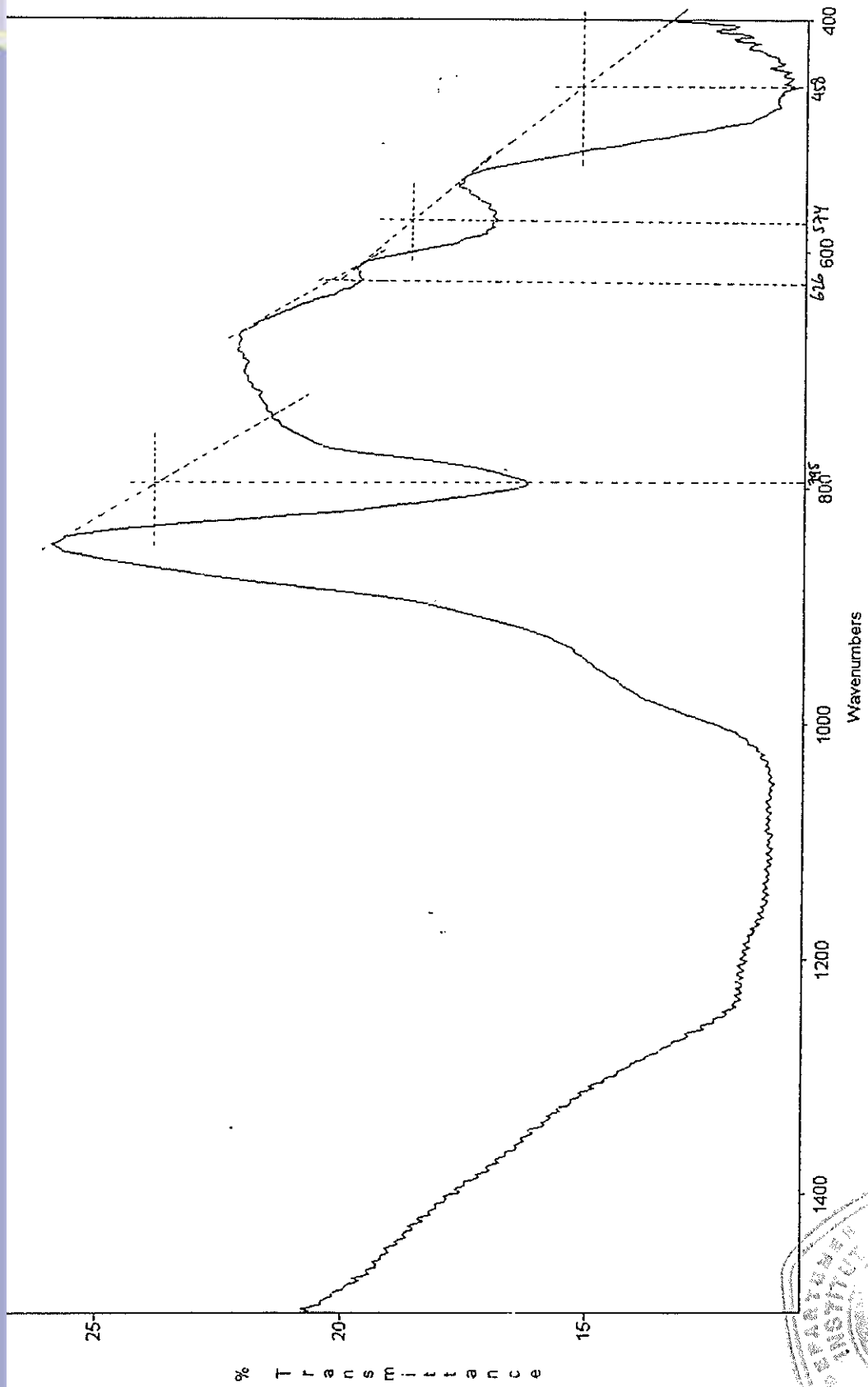
G Hick cipu milih IPB University

IPB University

Lampiran 22. Keluaran FTIR dari ZEO-TP



Lanjutan Lampiran 22



G Hick cipu miter IPB University

IPB University

