



**PENGARUH TEMPERATUR PADA KAPASITAS ADSORPSI ZEOLIT
JENIS NZA DAN H₅-NZA TERHADAP ZAT WARNA JENIS METHYL RED
DAN METHYL ORANGE**

| | | |
|---------------------|-------------|-------|
| Asal: | Hadiah | Klass |
| Terima Tol : | Pembelian. | 536.5 |
| | 10 SEP 2001 | WIH |
| SKRIPSI. Indeks | | P |
| KLASIR / PENYALIN : | | |

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :

Piki Wihamdoyo
NIM. 001810301117

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER

2007

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT atas segala nikmat, karunia dan rahmat-Nya yang telah dilimpahkan kepadaku.
2. Orang tuaku tercinta dan tersayang yang sangat aku hormati, Budi Sutijanto dan Lilik Mardiana, terima kasih atas segala do'a, kasih sayang dan semua pengorbanannya untuk segala sesuatu dalam hidupku.
3. Kakakku (mbak Yoti dan mas Widodo) dan Adikku (Indika dan Rangga) atas do'a dan dukungan yang tidak pernah berhenti.
4. Pendamping setiaku yang selalu di hati, Indri atas dukungan dan semangatnya.
5. Dosen pembimbingku, Pak Iwan, Bu Novita, Pak Busroni, dan dosen pengujiku, Pak Antok dan Bu Dewi yang mempunyai andil dalam skripsiku.
6. Saudara-saudara di Organisasiku tercinta PALAPA.
7. Teman-teman baikku, Iwan, Feri, Irfan, Helmi, Encik, Junaida dan semua temanku jurusan kimia angkatan 2000.
8. Pengajar-pengajarku sejak di Sekolah Dasar sampai Perguruan Tinggi, terima kasih atas ilmunya untukku.
9. Almamater tercinta Universitas Jember.

MOTTO

Barang siapa berilmu dan mengamalkan ilmunya,
itulah yang disebut Orang Agung dalam Kerajaan Langit,
Ia bagaikan matahari yang mampu menyinari yang lain dan dirinya sendiri,
Ia bagaikan parfum yang dapat mengharumkan orang lain dan dirinya sendiri harum
(Imam Al-Ghazali)

Akal dan belajar itu seperti raga dan jiwa
Tanpa raga, jiwa hanyalah udara tanpa makna
Tanpa jiwa, raga adalah kerangka tanpa makna
(Kahlil Gibran)

Tuntutlah ilmu, tapi tidak melupakan ibadah
dan
Kerjakanlah ibadah tapi tidak boleh lupa pada ilmu
(H.R. Hasan Al Bashri)

Begitu banyak hal indah dalam dunia ini yang dapat kita peroleh
selama kita bersedia bekerja untuk mendapatkannya.
Namun karena keraguan dan ketidaktahuan,
kita telah kehilangan semua hal yang patut kita dapatkan
(William Shakespeare)

Tidak Ada Yang Mudah Dalam Hidup Ini,
Namun Tak Ada Yang Tidak Mungkin
(Napoleon)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Piki Wihamdoyo

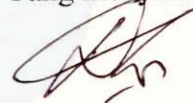
NIM : 001810301117

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul : “Pengaruh Temperatur pada Kapasitas Adsorpsi Zeolit Jenis NZA dan H₅-NZA terhadap Zat Warna Jenis Methyl Red dan Methyl Orange” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 29 Juni 2007

Yang menyatakan,



Piki Wihamdoyo

001810301117

HALAMAN PEMBIMBINGAN

SKRIPSI

**Pengaruh Temperatur pada Kapasitas Adsorpsi Zeolit Jenis NZA dan H₅-NZA
terhadap Zat Warna Jenis Methyl Red dan Methyl Orange**

Oleh

Piki Wihamdoyo
NIM. 001810301117

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Novita Andarini, S.Si, M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Busroni, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi ini diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari : **RABU**
Tanggal : **29 AUG 2007**
Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

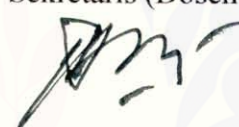
Tim Penguji

Ketua (Dosen Pembimbing Utama),



Novita Andarini, S.Si, M.Si
NIP. 132 257 935

Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota),



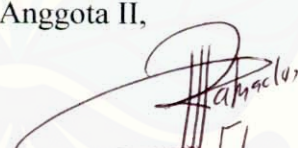
Drs. Busroni, M.Si
NIP. 131 945 805

Anggota I,



Suwardiyanto, S.Si, M.Si
NIP. 132 206 032

Anggota II,



AA Istri Ratnadewi, S.Si, M.Si
NIP. 132 162 523

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam



Ir. Sumadi, MS
NIP. 130 368 784

RINGKASAN

Pengaruh Temperatur pada Kapasitas Adsorpsi Zeolit Jenis NZA dan H₅-NZA terhadap Zat Warna Jenis Methyl Red dan Methyl Orange; Piki Wihamdoyo, 001810301117; 2007; 81 Halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Zat warna azo yang terkandung dalam limbah industri tekstil dapat menimbulkan masalah tersendiri pada lingkungan perairan, antara lain memperlambat aktivitas fotosintesis tumbuhan air, menghambat pertumbuhan biota air dengan menghalangi sinar matahari dan memanfaatkan oksigen terlarut dalam perairan. Adsorpsi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan sebagai penghilang zat warna pada limbah tekstil. Cara ini dianggap efektif dan ekonomis karena bahan yang digunakan sebagai adsorben dapat diperoleh dengan mudah di alam seperti zeolit.

Penelitian ini mempelajari kapasitas adsorpsi zeolit jenis NZA dan H₅-NZA terhadap zat warna golongan azo (-N=N-) pada variasi temperatur dengan range 27-80°C dengan sistem flow. Zat warna yang digunakan adalah Methyl-Red dan Methyl-Orange dengan konsentrasi 10 ppm. Penelitian ini dilakukan dengan mengalirkan larutan zat warna ke dalam kolom berisi adsorben dengan laju alir konstan 2 ml/menit dan variasi parameter jenis adsorben, jenis zat warna, dan temperatur yang saling dikombinasikan.

Parameter yang digunakan terdiri atas jenis adsorben NZA dan H₅-NZA, jenis adsorbat Methyl-Red (MR) dan Methyl-Orange (MO), dan variasi temperatur 27; 30; 40; 50; 60; 70 dan 80°C. Konsentrasi zat warna sisa diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan memilih persamaan adsorpsi isotherm yang sesuai antara Langmuir dan Freundlich Isotherm.

Dari ketujuh variasi temperatur dalam penelitian ini dapat dibandingkan persamaan garis, nilai a dan k serta nilai R^2 dari persamaan Langmuir dan Freundlich isotherm. Persamaan Freundlich Isotherm lebih sesuai untuk penentuan kapasitas

adsorpsi NZA dan H₅-NZA terhadap MO dan MR dengan nilai R² yang cenderung lebih besar dan nilai k yang bagus.

Kapasitas adsorpsi optimal terhadap MO diperoleh pada temperatur 30°C sebesar 0.004321 g/g untuk adsorben NZA dan 0.004007 g/g untuk adsorben H₅-NZA. Kapasitas adsorpsi optimal terhadap MR diperoleh pada temperatur 27°C sebesar 1.1321 g/g untuk adsorben NZA dan 1.072 g/g untuk adsorben H₅-NZA.

Pada adsorpsi MO oleh NZA diperoleh entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) sebesar 13.617 KJ/mol, sedangkan untuk adsorpsi MO oleh H₅-NZA diperoleh entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) sebesar 12.424 KJ/mol. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa adsorpsi MO oleh NZA dan H₅-NZA adalah reaksi endotermis dimana entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) bernilai positif.

Pada adsorpsi MR oleh NZA diperoleh entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) sebesar -90.980 KJ/mol, sedangkan untuk adsorpsi MR oleh H₅-NZA diperoleh entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) sebesar -147.748 KJ/mol. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa adsorpsi MR oleh NZA dan H₅-NZA adalah reaksi eksotermis dimana entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) bernilai negatif.

PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah pemilik dan penguasa alam semesta yang dengan cinta-Nya mengantar penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat dan salam bagi Rasulullah SAW yang menggenapi kemegahan semesta dengan kemuliaan akhlaknya.

Penulis menyadari bahwa berbagai pihak telah turut banyak membantu, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Dekan Fakultas MIPA Universitas Jember.
2. Ketua Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember.
3. Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Anggota atas bimbingan serta saran yang telah diberikan mulai awal sampai akhir penelitian ini.
4. Dosen Penguji atas kritik dan sarannya.
5. Segenap Dosen dan Administrasi Fakultas MIPA Universitas Jember.
6. Ketua Laboratorium dan Teknisi Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember.
7. Keluarga Besarku yang kusayangi, atas segala dukungannya selama ini.
8. Teman-temanku di Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember.
9. Saudara-saudaraku di Organisasi PALAPA.

Akhirnya, tiada karya manusia yang sempurna. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi terhadap kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Jember, Juni 2007

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| HALAMAN MOTTO | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PEMBIMBINGAN | v |
| HALAMAN PENGESAHAN | vi |
| RINGKASAN | vii |
| PRAKATA | ix |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 Batasan Masalah | 4 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Zeolit | 5 |
| 2.1.1 Komposisi dan Struktur Zeolit..... | 5 |
| 2.1.2 Kegunaan Zeolit..... | 6 |
| 2.1.3 Aktivasi Zeolit..... | 7 |
| 2.1.4 Karakteristik Zeolit | 10 |
| 2.2 Adsorpsi | 12 |
| 2.2.1 Kinetika Adsorpsi | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.2 Persamaan Adsorpsi Isoterm..... | 17 |
| 2.3 Pewarna Tekstil (dyes)..... | 18 |
| 2.3.1 Struktur Zat Warna yang Digunakan | 19 |
| 2.4 Spektrofotometri | 20 |
| 2.4.1 Spektrofotometri UV-Vis..... | 20 |
| 2.4.2 Hukum Lambert-Beer | 21 |
| 2.4.3 Keabsahan Hukum Beer | 23 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN..... | 24 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 24 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 24 |
| 3.2.1 Alat..... | 24 |
| 3.2.2 Bahan | 24 |
| 3.3 Diagram Alir Penelitian | 24 |
| 3.3.1 Preparasi Zeolit Alam | 24 |
| 3.3.2 Adsorpsi Pewarna | 26 |
| 3.4 Prosedur Penelitian | 26 |
| 3.4.1 Preparasi Zeolit Alam (NZ) | 26 |
| 3.4.2 Pembuatan NZA | 26 |
| 3.4.3 Pembuatan H ₅ -NZA | 27 |
| 3.4.4 Karakterisasi adsorben | 27 |
| 3.4.5 Preparasi Larutan Standar Zat Warna | 28 |
| 3.4.6 Penentuan Panjang Gelombang untuk Serapan Maksimum | 29 |
| 3.4.7 Pembuatan Kurva Standar | 29 |
| 3.4.8 Pengukuran Zat Warna yang Terserap oleh Zeolit | 29 |
| 3.4.9 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Menggunakan Persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich | 29 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 31 |
| 4.1 Adsorben NZ, NZA dan H₅-NZA | 31 |
| 4.2 Karakter Adsorben NZ, NZA dan H₅-NZA | 31 |

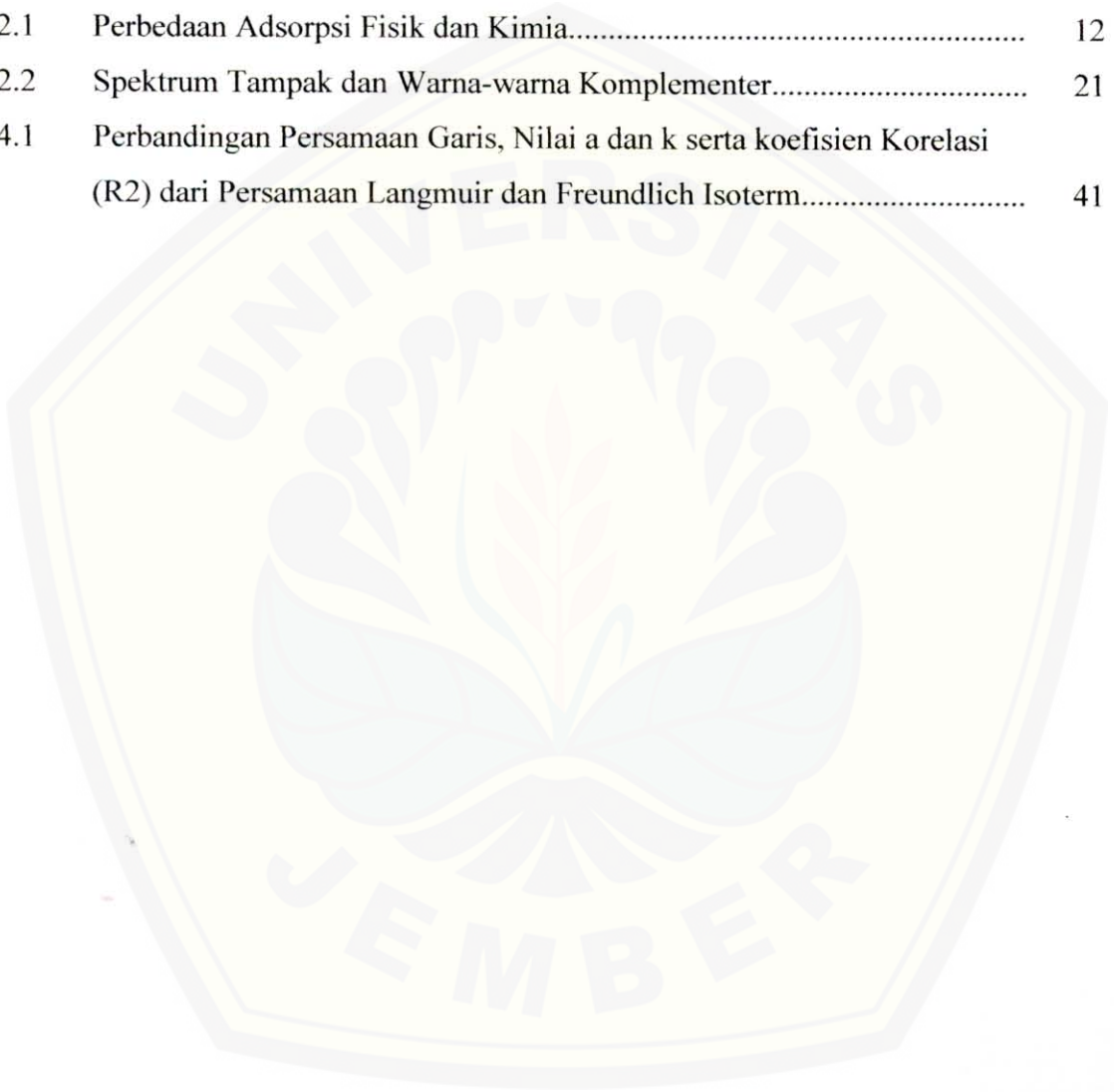
| | |
|--|-----------|
| 4.2.1 Keasaman | 31 |
| 4.2.2 Frekuensi Distribusi Pori | 34 |
| 4.2.3 Luas Permukaan Spesifik | 35 |
| 4.3 Adsorpsi Methyl Orange dan Methyl Red oleh Adsorben NZA dan H₅-NZA | 36 |
| 4.3.1 Methyl Orange (MO) | 36 |
| 4.3.2 Methyl Red | 38 |
| 4.4 Perbandingan antara Persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir dengan Freundlich dalam Penentuan Kapasitas Adsorpsi NZA dan H₅-NZA terhadap Methyl Red dan Methyl Orange..... | 40 |
| 4.5 Kapasitas Adsorpsi NZA dan H₅-NZA terhadap Methyl Red dan Methyl Orange | 42 |
| 4.6 Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads}) | 44 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 45 |
| 5.1 kesimpulan | 45 |
| 5.2 Saran | 45 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN-LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Dealuminasi oleh Larutan Asam Klorida..... | 8 |
| 2.2 Dealuminasi Melalui Hidrotermal.. .. | 9 |
| 2.3 Perlakuan Termal terhadap NH ₄ Zeolit sehingga Diperoleh H-Zeolit..... | 11 |
| 2.4 Dehidrasi terhadap Kation Polivalen pada Zeolit Sehingga Dihasilkan Situs Asam Bronsted..... | 11 |
| 2.5 Dehidroksilasi pada Temperatur Tinggi Dihasilkan Situs Asam Lewis..... | 12 |
| 2.6 Profil Fisisorpsi dan Adsorpsi Teraktivasi terhadap Perubahan Temperatur..... | 13 |
| 2.7 Struktur Metil Red..... | 19 |
| 2.8 Struktur Metil Orange..... | 19 |
| 2.9 Hukum Lambert Beer..... | 22 |
| 2.10 Kurva Kalibrasi..... | 23 |
| 3.1 Penentuan Konstanta a dan b..... | 30 |
| 3.2 Penentuan Konstanta k dan n..... | 30 |
| 4.1 Keasaman Adsorben..... | 32 |
| 4.2 Dealuminasi oleh HCl..... | 32 |
| 4.3 Pertukaran Kation oleh H ⁺ | 33 |
| 4.4 Proses Pelepasan Al saat hidrotermal..... | 33 |
| 4.5 Frekuensi Distribusi Pori..... | 35 |
| 4.6 Luas Permukaan Spesifik..... | 36 |
| 4.7 Kurva Konsentrasi MO yang Terserap oleh Zeolit..... | 37 |
| 4.8 Prediksi Interaksi Zeolit dengan MO..... | 38 |
| 4.9 Kurva Konsentrasi MR yang Terserap oleh Zeolit..... | 39 |
| 4.10 Prediksi Interaksi Zeolit dengan MR..... | 40 |
| 4.11 Kapasitas Adsorpsi Zeolit Menggunakan Persamaan Freundlich Isoterm.. | 43 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Kimia..... | 12 |
| 2.2 Spektrum Tampak dan Warna-warna Komplementer..... | 21 |
| 4.1 Perbandingan Persamaan Garis, Nilai a dan k serta koefisien Korelasi (R^2) dari Persamaan Langmuir dan Freundlich Isoterm..... | 41 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| 1. Data Keasaman Adsorben..... | 49 |
| 2. Frekuensi Distribusi Pori..... | 49 |
| 3. Luas Permukaan Spesifik..... | 49 |
| 4. Data Hasil Analisis Ukuran Pori Adsorben Zeolit Alam (NZ)..... | 50 |
| 5. Data Hasil Analisis Ukuran Pori Adsorben NZA..... | 52 |
| 6. Data Hasil Analisis Ukuran Pori Adsorben H5-NZA..... | 54 |
| 7. Perhitungan Keasaman Adsorben..... | 56 |
| 8. Larutan Standar MR..... | 58 |
| 9. Larutan Standar MO..... | 59 |
| 10. Data Serapan MO oleh NZA..... | 60 |
| 11. Data Serapan MO oleh H5-NZA..... | 64 |
| 12. Data Serapan MR oleh NZA..... | 68 |
| 13. Data Serapan MR oleh H5-NZA..... | 72 |
| 14. Tabel Persamaan Adsorpsi Isoterm..... | 76 |
| 15. Data k_{ads} dari intersep persamaan garis Freundlich Isoterm..... | 77 |
| 16. Data Panjang Gelombang untuk Serapan Maksimum..... | 80 |



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Zat pewarna banyak digunakan dalam industri terutama industri tekstil untuk pewarnaan produknya. Salah satu yang perlu mendapat perhatian pada industri tekstil adalah limbah hasil produksinya dapat mencemari lingkungan khususnya pencemaran terhadap air. Limbah industri tekstil didominasi oleh pencemaran terhadap warna karena penggunaan zat warna baik yang alami maupun sintesis dalam proses produksinya. Limbah industri tekstil sebagian besar dalam bentuk cair yang sebagian besar dihasilkan dari proses pembilasan/pencucian.

Zat warna yang terkandung dalam limbah industri tekstil dapat menimbulkan masalah tersendiri pada lingkungan perairan, antara lain memperlambat aktivitas fotosintesis tumbuhan air, menghambat pertumbuhan biota air dengan menghalangi sinar matahari dan memanfaatkan oksigen terlarut dalam perairan. Bahan-bahan organik yang terkandung dalam pewarna tekstil dapat mencemari lingkungan terutama air apabila jumlahnya terlalu banyak. Secara normal bahan organik bisa terdegradasi dengan proses alamiah. Tetapi bila jumlah kandungannya terlalu besar proses ini tidak bisa terjadi secara seimbang sehingga kandungan bahan organik bertambah banyak.

Pada umumnya zat warna tekstil mengandung senyawa aromatik hasil sintesis yang sukar terurai secara biologis. Hal ini terlihat dari kenyataan bahwa proses dekolorisasi air limbah yang mengandung zat warna tekstil tidak terjadi secara signifikan dalam sistem pengolahan biologi. Oleh karena itu, teknologi pengolahan air limbah berwarna yang digunakan di industri lebih banyak menerapkan metode kimia-fisika. Metode tersebut meliputi (i.) proses fisika yaitu: presipitasi (koagulasi,

flokulasi, maupun sedimentasi), adsorpsi dan filtrasi, serta (ii.) proses kimia yaitu: reduksi, oksidasi, pembentukan senyawa kompleks, penukaran ion dan netralisasi.

Zeolit mempunyai struktur rangka tiga dimensi dengan rongga-rongga dan lorong-lorong teratur berkesinambungan dalam ukuran tertentu, dimana ion-ion logam dan molekul air bebas bergerak. Dengan struktur ini, zeolit mempunyai karakteristik spesifik sebagai penapis molekul yang baik dan dapat berhidrasi-dehidrasi secara reversibel. Sifat ini antara lain dimanfaatkan dalam bidang pertanian untuk mengontrol pembebasan ion-ion NH_4 , Ca^{2+} , K^+ dan N_2 dari pupuk karena zeolit dapat secara efektif meningkatkan kapasitas tukar kation tanah hingga ion-ion pupuk tersebut tidak mudah terlarut, serta penggunaan dalam pengolahan limbah industri, limbah peternakan, limbah rumah tangga, penjernihan air untuk minum dan industri bahan makanan, untuk menghilangkan kesadahan air, bau dan warna bahkan juga untuk mengolah dan menyimpan limbah nuklir (www.warmada.staff.ugm.ac.id)

Adsorpsi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan sebagai penghilang zat warna pada limbah tekstil. Cara ini dianggap efektif dan ekonomis karena bahan yang digunakan sebagai adsorben dapat diperoleh dengan mudah di alam seperti arang aktif, zeolit dan adsorben-adsorben lain. Berdasarkan sifat fisik dan kimianya dan dilihat dari struktur dan komposisinya, zeolit dapat digunakan sebagai adsorben, penukar kation, katalis dan penyaring/pemisah molekul (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

Penelitian ini mempelajari aktivitas katalis zeolit dalam adsorpsi zat warna tekstil (*dyes*) golongan azo ($-\text{N}=\text{N}-$) pada variasi temperatur. Zat warna yang digunakan adalah *Methyl-Red* dan *Methyl-Orange* yang termasuk pewarna golongan azo karena pewarna azo mengandung senyawa aromatik yang sukar terurai secara biologis

Pengaruh temperatur pada proses adsorpsi adalah suatu fenomena kompleks. Parameter termodinamika, seperti kalor adsorpsi dan energi aktivasi memainkan peranan penting dalam menentukan perilaku adsorpsi dan keduanya sangat tergantung pada temperatur. Kenaikan temperatur mempengaruhi kelarutan dan potensial kimia

dari adsorbat, yang akan berpengaruh pada proses adsorpsi. Jika kelarutan adsorbat meningkat karena peningkatan temperatur, potensial kimia menurun, maka terjadi penurunan dalam proses adsorpsi (www.ecology.kee.hu). Adsorpsi suatu zat mudah berubah karena temperatur dinaikkan atau diturunkan, sehingga variasi temperatur digunakan untuk mempelajari aktivitas adsorpsi zeolit terhadap zat warna dengan menggunakan reaktor sistem *flow*. Variasi temperatur juga digunakan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari zeolit dengan persamaan Langmuir Isoterm dan Freundlich Isoterm.

Pada penelitian pemilihan persamaan adsorpsi isoterm pada penentuan kapasitas adsorpsi kulit kacang tanah terhadap zat warna remazol golden yellow 6 (Mulyatna, 2003), kapasitas adsorpsi dicari dengan persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich pada variasi temperatur. Dari perbandingan koefisien korelasi dapat ditentukan persamaan isoterm yang sesuai. Pengaruh temperatur pada kapasitas adsorpsi pada penelitian mengenai studi kinetik bioadsorpsi zat warna methylene blue pada abu jerami (www.ecology.kee.hu), melaporkan bahwa kapasitas adsorpsi menurun dengan peningkatan temperatur. Dari hal tersebut perlu diteliti bagaimana pengaruh temperatur terhadap kapasitas adsorpsi dengan menggunakan adsorben zeolit terhadap zat warna.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dimunculkan dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana perbandingan kapasitas adsorpsi zeolit jenis NZA dan H₅-NZA terhadap zat warna jenis *Methyl-Red* dan *Methyl-Orange* pada variasi temperatur?
2. Bagaimana pengaruh temperatur pada kapasitas adsorpsi zeolit terhadap zat warna jenis *Methyl-Red* dan *Methyl-Orange*?
3. Persamaan adsorpsi isoterm yang mana yang sesuai dalam penentuan kapasitas adsorpsi NZA dan H₅-NZA terhadap zat warna jenis *Methyl-Red* dan *Methyl-Orange*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari perbandingan kapasitas adsorpsi NZA dan H₅-NZA terhadap zat warna jenis *Methyl-Red* dan *Methyl-Orange* pada variasi temperatur.
2. Mempelajari pengaruh temperatur pada kapasitas adsorpsi zeolit terhadap zat warna jenis *Methyl-Red* dan *Methyl-Orange*.
3. Memilih persamaan adsorpsi isoterm yang sesuai pada penentuan kapasitas adsorpsi NZA dan H₅-NZA terhadap zat warna jenis *Methyl-Red* dan *Methyl-Orange*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif cara pengolahan limbah pewarna pada industri tekstil dan memberikan alternatif penggunaan zeolit dalam industri.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Proses adsorpsi pada variasi temperatur menggunakan reaktor sistem *flow*.
- b. Zeolit yang digunakan berasal dari PT. Prima Zeolita Wonosari Yogyakarta.
- c. Pewarna golongan *azo* yang digunakan adalah *Methyl-Red* dan *Methyl-Orange*.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit

2.1.1 Komposisi dan Struktur Zeolit

Zeolit merupakan mineral kristal silika-alumina yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina-silikat dan air (Hamdan, 1992). Zeolit alam mempunyai bentuk struktur kristal tetrahedral, mengandung kation yang dapat dipertukarkan secara "ion exchange" (Setyawan, 2001). Air yang terkandung dalam pori tersebut dapat dilepas dengan pemanasan pada temperatur 300°C sampai dengan 400°C. Dengan pemanasan pada temperatur tersebut air dapat keluar, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Jumlah air yang terkandung dalam zeolit sesuai dengan banyaknya pori atau volume pori (Sutarti dan Rahmawati, 1994).

Zeolit banyak ditemukan pada batuan vulkanik dan sedimen serta metamorfose karena pengaruh pemanasan dan pendinginan. Zeolit alam bercampur dengan mineral lain seperti feldspar, sodalit, nephelit dan leusit. Diperkirakan zeolit alam terbentuk dari lava gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, membentuk sedimen-sedimen dan batuan metamorfosa dan selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin membentuk mineral zeolit.

Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral AlO_4^{5-} dan SiO_4^{4-} yang saling berhubungan melalui atom O. Ikatan Al – O – Si membentuk struktur kristal, dan logam alkali atau alkali tanah yang merupakan sumber kation dan dapat dipertukarkan (Sutarti dan Rahmawati, 1994).

Berdasarkan unit pembentuk zeolit, Meirer dan Danson (Campbell, 1998) membagi kerangka zeolit menjadi tiga bagian, yaitu:

- 1) unit pembangun primer merupakan unit terkecil dari kerangka zeolit yang terdiri dari tetrahedral TO_4 ($T=Si$ atau Al),
- 2) unit pembangun sekunder merupakan gabungan dari dua, tiga atau lebih tetrahedral untuk membentuk cincin tunggal ataupun ganda,
- 3) bangunan polihedral merupakan gabungan dari beberapa unit pembangun sekunder yang tersusun secara teratur. Struktur inilah yang menyebabkan zeolit mempunyai pori dan kanal-kanal kosong cukup besar yang saling berhubungan ke segala arah sehingga permukaan zeolit menjadi sangat luas. Jadi pori zeolit dapat diperbesar atau diperkecil melalui perubahan polihedral.

Secara umum formula zeolit dapat dituliskan sebagai berikut (Hamdan, 1992):



dimana:

M = kation bermuatan positif n yang dapat dipertukarkan

n = muatan kation

x = jumlah Al

y = jumlah Si

p = jumlah air kristal

$\{ \}$ = kerangka alumina-silika

Rasio Si/Al di dalam kerangka zeolit tersebut sangat menentukan keasaman zeolit. Keasaman zeolit terdiri dari asam Bronsted dan asam Lewis, dimana jumlah total asam Bronsted dan asam Lewis adalah konstan. Keasaman zeolit meningkat dengan bertambahnya rasio Si/Al . Rasio Si/Al dapat ditingkatkan dengan cara pelepasan beberapa Al melalui reaksi dengan pelepasan beberapa Al melalui reaksi dengan $SiCl_4$ (Sutarti dan Rahmawati, 1994).

2.1.2 Kegunaan Zeolit

Kegunaan zeolit berhubungan dengan struktur dan komposisi zeolit (Sutarti dan Rachmawati, 1994), antara lain sebagai:

a) Adsorben

Zeolit dapat mengadsorpsi senyawa tertentu dikarenakan adanya perbedaan ukuran pori yang ada pada struktur zeolit maupun adanya interaksi antara zeolit dengan adsorbat sehingga zeolit dapat digunakan sebagai adsorben.

b) Penukar Kation

Kation-kation yang terikat dalam struktur zeolit berfungsi sebagai penetral muatan negatif alumunium. Kation-kation ini dapat bergerak bebas sehingga dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain. Pertukaran kation yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan kation. Pertukaran kation dengan kation lain yang berbeda ukuran dan muatannya juga dipengaruhi oleh ukuran pori zeolit.

c) Katalis

Katalis zeolit berbeda dengan jenis katalis lainnya, dikarenakan situs aktif katalitik zeolit terdistribusi secara seragam pada sebagian besar padatannya dan pada struktur terdapat ruang-ruang kosong dan kanal-kanal yang mudah dicapai oleh molekul-molekul reaktan tertentu. Katalis zeolit dapat dimanfaatkan dalam proses perengkahan (*cracking*) hidrokarbon.

d) Penyaring/Pemisah Molekul (*Molecular Sieving*)

Zeolit mampu memisahkan molekul berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk maupun polaritas molekul yang dipisahkan. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ukuran pori dapat melintas sedangkan molekul yang berukuran lebih besar akan tertahan atau ditolak.

2.1.3 Aktivasi Zeolit

Peningkatan kualitas zeolit alam dapat dilakukan melalui aktivasi secara fisik maupun kimia (Sutarti dan Rachmawati, 1994) yaitu:

a) Aktivasi Fisik

Proses aktivasi ini dapat dilakukan dengan kalsinasi dan oksidasi. Kalsinasi merupakan perlakuan termal pada temperatur tinggi untuk menghilangkan senyawa organik dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. Kalsinasi biasanya dilakukan pada temperatur 400-550°C dalam suatu tanur dengan dialiri gas

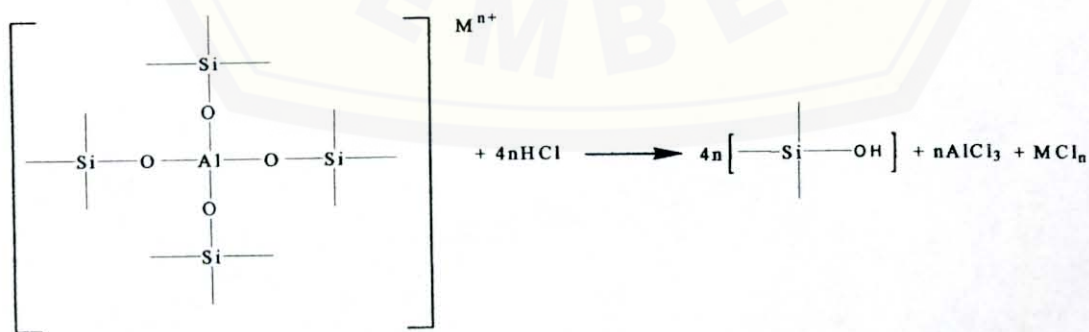
inert seperti nitrogen. Penggunaan gas nitrogen bertujuan agar kalsinasi lebih sempurna dan tidak terjadi reaksi lain yang tidak diinginkan selama kalsinasi. Pada umumnya zeolit yang telah dikalsinasi akan memiliki jumlah pori yang lebih besar dan mengalami kenaikan luas permukaan. Oksidasi pada zeolit bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa karbon yang terbentuk karena adanya penyerapan senyawa-senyawa organik selama proses pembentukan zeolit di alam (Satterfield, 1980)

b) Aktivasi Kimia

Proses aktivasi ini dapat dilakukan melalui penggunaan larutan asam maupun hidrotermal dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, menghilangkan senyawa pengotor baik organik maupun anorganik, serta mengoptimalkan kandungan aluminium dalam zeolit.

1) Perlakuan Asam

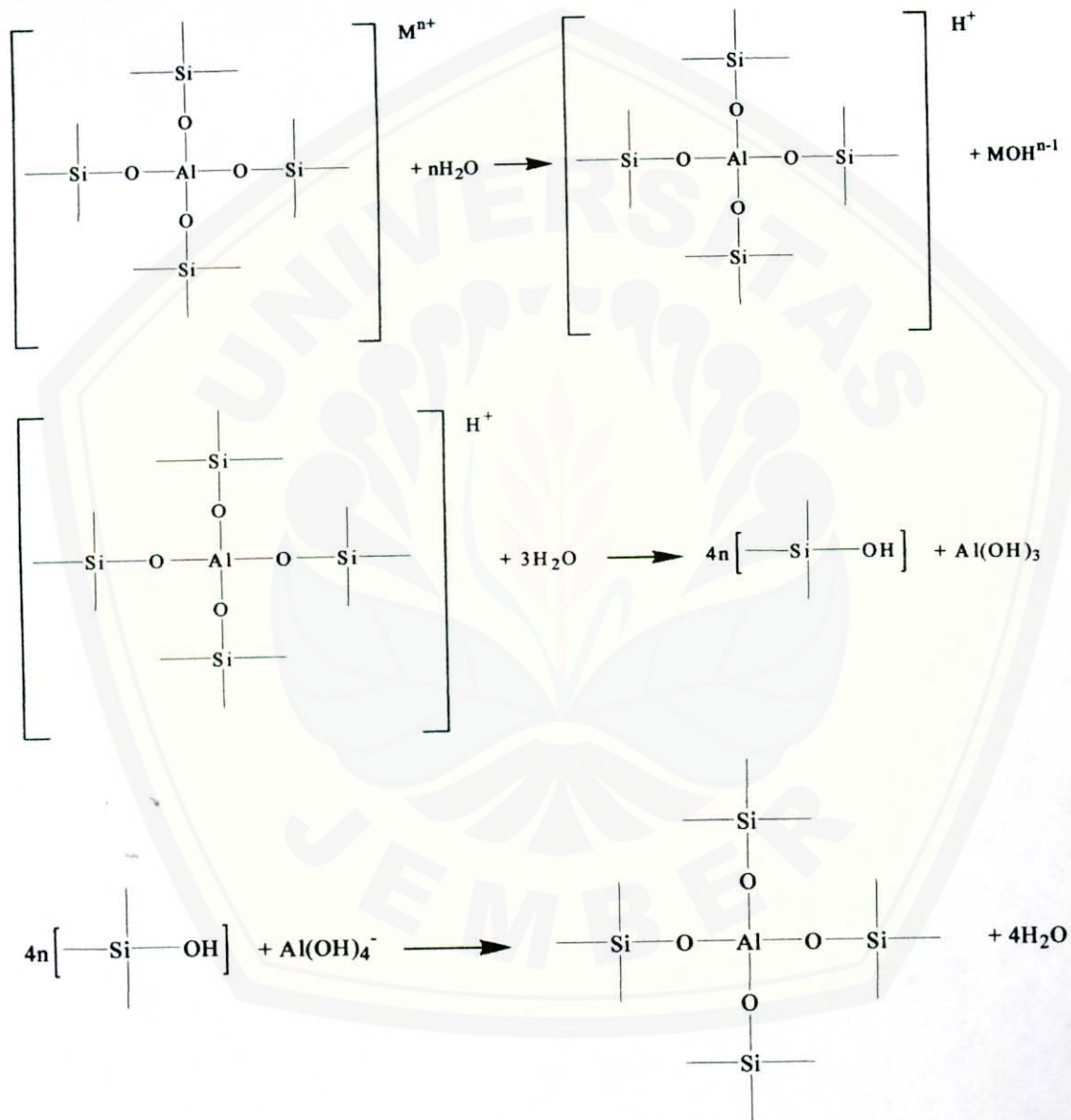
Larutan yang digunakan untuk aktivasi dengan perlakuan asam, yaitu: asam fluorida, asam klorida. Larutan HF sangat peka terhadap zeolit karena dapat melarutkan silika dan aluminium. Agar pemakaian larutan HF tidak merusak struktur zeolit maka konsentrasi yang digunakan adalah 1%. Larutan HCl juga dapat melarutkan aluminium dalam zeolit sehingga akan terjadi penurunan kandungan aluminium (dealuminasi). Aluminium dalam zeolit dapat terekstrak oleh adanya perendaman larutan HCl sehingga bila larutan HCl makin pekat dan perendamannya makin lama maka jumlah aluminium dalam kerangka (*Al framework*) menjadi aluminium nonkerangka bertambah sehingga rasio Si/Al meningkat.



Gambar 2.1 Dealuminasi oleh Larutan Asam Klorida

2) Mengalirkan uap air pada temperatur kalsinasi (hidrotermal)

Hidrotermal dilakukan pada temperatur kalsinasi agar zeolit yang dihasilkan bisa stabil. Adanya uap air pada temperatur kalsinasi dalam zeolit akan mengekstrak atom aluminium dalam kerangka yang mempunyai situs asam Bronsted.



Gambar 2.2 Dealuminasi Melalui Hidrotermal

Adanya uap air pada temperatur kalsinasi juga dapat mengakibatkan labilitas kerangka oksigen. Selanjutnya, atom Si mengisi tempat kosong yang ditinggalkan Al. Akibatnya ukuran unit selnya menyusut. Penyusutan ukuran unit sel ini sebagai tanda meningkatnya rasio Si/Al, selanjutnya kestabilan tercapai (Hamdan, 1992)

2.1.4 Karakteristik Zeolit

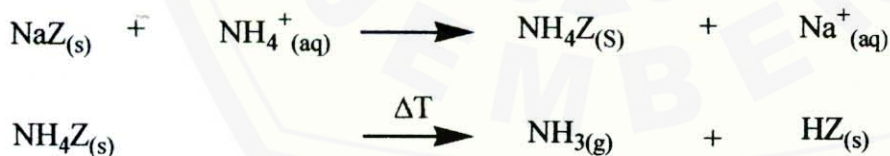
1) Kandungan Kation

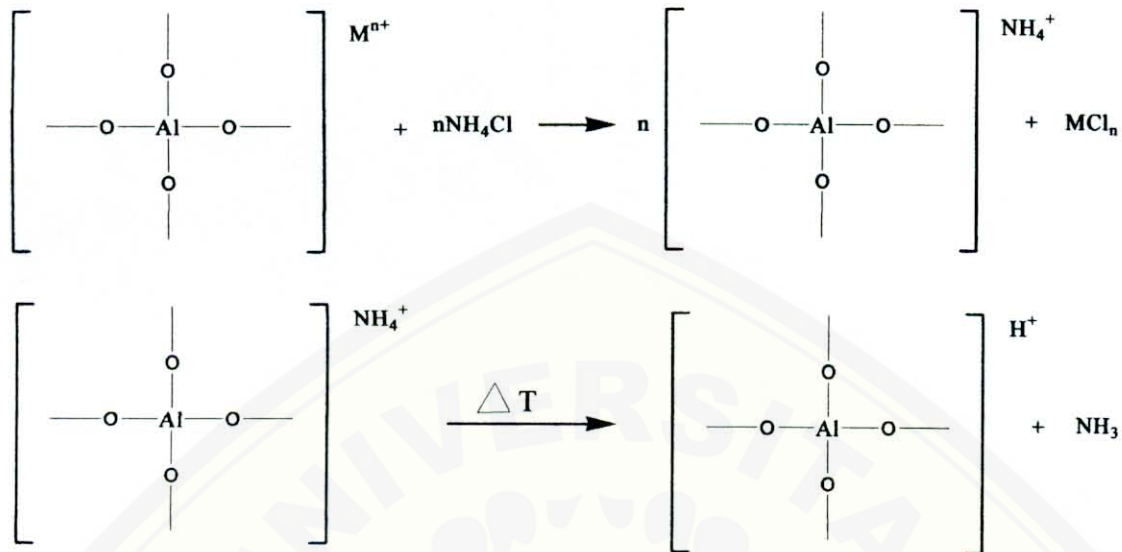
Dalam struktur zeolit terdapat kation-kation yang berfungsi sebagai penetral muatan negatif aluminium. Kation-kation ini dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain. Pertukaran kation yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan kation. Pertukaran kation dalam zeolit dengan kation lain yang berbeda ukuran dan muatannya juga dipengaruhi oleh ukuran pori zeolit (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

2) Keasaman

Salah satu karakteristik zeolit adalah keasaman. Munculnya sifat asam pada zeolit disebabkan oleh adanya situs asam Bronsted dan asam Lewis yang terdapat dalam struktur kristal zeolit. Situs asam Bronsted dalam zeolit timbul karena adanya jembatan gugus hidroksil sehingga asam Bronsted terletak pada proton (H^+) yang terikat oleh atom oksigen yang berada di sekitar aluminium. Hidroksil biasanya dibentuk salah satunya melalui pertukaran amonium atau kation polivalen yang dilanjutkan proses kalsinasi (Augustine, 1996).

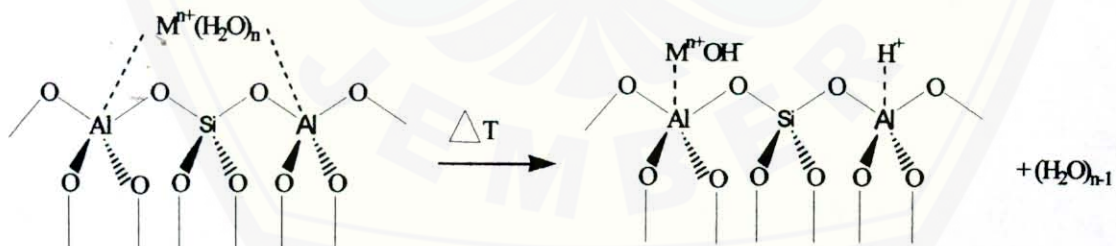
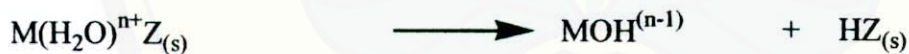
Pertukaran ion amonium:





Gambar 2.3 Perlakuan Termal terhadap NH₄-Zeolit sehingga Diperoleh H-Zeolit

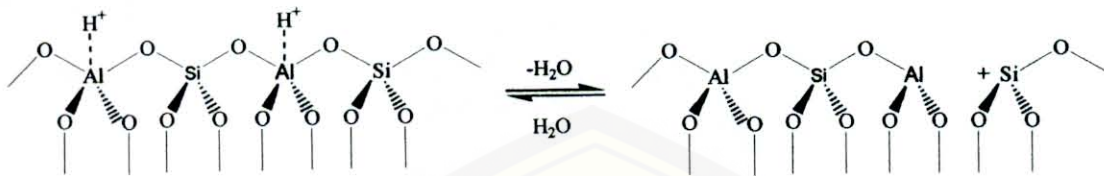
Pertukaran ion polivalen:



Gambar 2.4 Dehidrasi terhadap Kation Polivalen pada Zeolit Sehingga Dihasilkan Situs Asam Bronsted

Pada temperatur tinggi zeolit akan melepaskan air membentuk asam Lewis. Situs asam Lewis muncul karena adanya spesi-spesi kationik yang terjadi melalui

peristiwa dehidroksilasi gugus hidroksil akibat pemanasan pada temperatur tinggi (Satterfield, 1980).



Gambar 2.5 Dehidroksilasi pada Temperatur Tinggi Dihasilkan Situs Asam Lewis

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi adalah gejala penarikan dan pelekatan suatu zat pada permukaan. Zat yang diserap disebut *adsorbat* sedangkan permukaan yang menyerap disebut *adsorben*. Adsorpsi terjadi karena adanya interaksi gaya-gaya pada permukaan padatan dengan molekul-molekul adsorbat (Soekardjo, 1985).

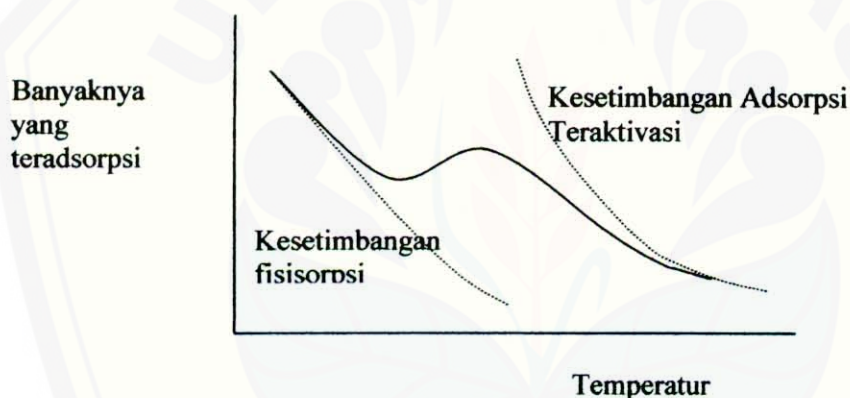
Adsorpsi dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi secara fisika (*fisisorpsi*) dan adsorpsi secara kimia (*kemisorpsi*). Fisisorpsi adalah peristiwa interaksi gaya molekular, yaitu interaksi antara molekul-molekul gas dengan permukaan padatan yang bersifat reversibel, artinya semua molekul gas yang teradsorpsi secara fisika dapat dilepaskan kembali dengan cara menaikkan temperatur atau menurunkan tekanan. Kemisorpsi merupakan peristiwa interaksi orbital molekul adsorbat yang bersifat irreversibel. Dengan demikian, proses pelepasan pada adsorpsi secara kimia diperlukan energi yang lebih besar dibandingkan dengan pada adsorpsi secara fisika (Atkins, 1997).

Tabel 2.1 Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Kimia

| Parameter | Adsorpsi Fisik | Adsorpsi Kimia |
|-----------------------|--|---|
| Penyebab Adsorpsi | Gaya Van der Waals | Gaya ikat kimiawi |
| Panas adsorpsi | 8-20 kJ/mol | 40-800 kJ/mol |
| Jumlah lapisan kontak | Terdiri dari beberapa lapisan molekul (multilayer) | Terdiri dari satu lapis molekul (monolayer) |

(Augustine, 1996)

Adsorpsi dipengaruhi oleh jenis adsorben, jenis adsorbat, luas permukaan adsorben, dan temperatur (Daniel dan Alberty, 1987). Untuk adsorpsi kation dipengaruhi oleh muatan dan ukuran kation serta ukuran pori adsorben. Struktur yang khas dari adsorben zeolit, yaitu hampir sebagian besar merupakan pori dan kanal sehingga menyebabkan zeolit memiliki luas permukaan yang besar. Keadaan ini dapat dijelaskan bahwa masing-masing pori dan kanal dalam maupun antarkristal zeolit adalah akumulasi dari luas permukaan (dinding) pori dan kanal penyusun zeolit. Luas permukaan internal zeolit dapat mencapai puluhan bahkan ratusan kali lebih besar dibandingkan bagian permukaan luarnya (Priatmoko, 2000). Adsorpsi suatu zat mudah berubah karena temperatur dinaikkan atau diturunkan (Smith, 1992)



Gambar 2.6 Profil Fisisorpsi dan Adsorpsi Teraktivasi terhadap Perubahan Temperatur

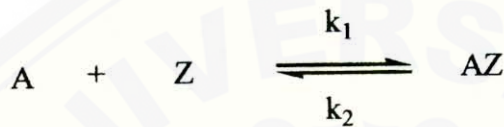
Adsorpsi secara fisisorpsi dari molekul gas terjadi pada kondisi kondensasi, biasanya pada temperatur rendah sehingga semakin tinggi temperatur menyebabkan molekul gas yang teradsorpsi semakin sedikit karena semakin melewati temperatur kritisnya (mendekati titik didih). Ketika mencapai kondisi tertentu, fisisorpsi kurang berperan secara signifikan maka terjadilah kemisorpsi. Keadaan kesetimbangan adsorpsi teraktivasi digunakan untuk menggambarkan proses kemisorpsi. Adsorpsi teraktivasi terjadi lebih lambat dibandingkan fisisorpsi karena energi yang diperlukan untuk kemisorpsi lebih besar (Smith, 1992).

2.2.1 Kinetika Adsorpsi

1) Laju Adsorpsi

Untuk memahami fenomena laju adsorpsi oleh zeolit maka diperlukan pengetahuan tentang teori kinetika adsorpsi. Pada umumnya persamaan laju adsorpsi mengikuti model reaksi orde satu (Sasongko, 1995).

Hukum laju untuk reaksi orde satu yang reversibel (Daniel dan Alberty, 1987) adalah



$$\frac{d[A]}{dt} = -k_1[A][Z] + k_2[AZ] \dots\dots\dots(1)$$

Selama reaksi berlangsung, Z yang berupa padatan ini dianggap tidak mengalami perubahan sehingga dianggap konstan. Dari persamaan (1) di atas menjadi

$$\frac{d[A]}{dt} = -k_1[A] + k_2[AZ] \dots\dots\dots(2)$$

Apabila pada awal reaksi hanya terdapat A, maka

$$\begin{aligned} \frac{d[A]}{dt} &= -k_1[A] + k_2[[A]_0 - [A]] \\ &= k_2[A]_0 - (k_1 + k_2)[A] \\ &= -(k_1 + k_2) \left[[A] - \frac{k_2}{k_1 + k_2} [A]_0 \right] \\ &= -k_1 + k_2 [[A] - [A]_{eq}] \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

Pernyataan untuk $[A]_{eq}$ diperoleh dari

$$\frac{[AZ]_{eq}}{[A]_{eq}} = \frac{[A]_0 - [A]_{eq}}{[A]_{eq}} = \frac{k_1}{k_2} \dots\dots\dots(4)$$

$$[A]_{eq} = \frac{k_1}{k_2} [A]_0 \dots\dots\dots(5)$$

Integrasi persamaan (3) menghasilkan

$$\begin{aligned} \ln([A] - [A]_{eq}) &= -(k_1 + k_2)t + \ln([A]_0 - [A]_{eq}) \\ \ln([A] - [A]_{eq}) &= -k't + \ln([A]_0 - [A]_{eq}) \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

Nilai konstanta adsorpsi diperoleh dari

$$k_{ads} = k_1 = k' \frac{([A]_0 - [A]_{eq})}{[A]_0} \dots \dots \dots (7)$$

2) Pengaruh Temperatur pada Entalpi adsorpsi

Perubahan derajat ketidakteraturan/entropi (ΔS) molekul gas pada proses adsorpsi selalu mempunyai harga negatif. Keadaan ini menunjukkan bahwa entropi molekul-molekul gas mengalami penurunan setelah teradsorpsi pada permukaan padatan. Molekul-molekul gas pada keadaan ini disebut keadaan terkondensasi. Molekul-molekul gas dalam keadaan terkondensasi lebih teratur daripada dalam keadaan gas dan akan kehilangan salah satu derajat kebebasannya, yaitu gerak translasi. Pada kondisi seperti itu entropi dari padatan dapat dianggap tidak berubah atau tidak terjadi kenaikan entropi yang lebih besar dibandingkan dengan penurunan entropi gas. Dengan demikian perubahan entropi sistem secara keseluruhan adalah negatif. Pada kenyataannya proses adsorpsi berlangsung secara spontan yang berarti perubahan energi Gibbs selalu bernilai negatif, maka perubahan entalpi sistem juga negatif, terjadi proses eksoterm (Bird, 1993).

Hubungan antara ΔS , ΔH , ΔG dapat dinyatakan melalui persamaan berikut (Daniel dan Alberty, 1987):

$$\Delta G = \Delta H - T.\Delta S \dots \dots \dots (8)$$

Telah diketahui bahwa pada kondisi kesetimbangan, besarnya konstanta kesetimbangan (K) adalah

$$K = \frac{k_1}{k_2} \dots \dots \dots (9)$$

dimana dalam adsorpsi k_1 sama dengan konstanta adsorpsi (k_{ads}) dan k_2 sama dengan konstanta desorpsi (k_{des}) sehingga

$$K = \frac{k_{ads}}{k_{des}} \dots\dots\dots(10)$$

Dalam penentuan entalpi adsorpsi yang dipengaruhi temperatur diturunkan dari persamaan:

$$K = e^{-\Delta G/RT} \dots\dots\dots(11)$$

Logaritma dari persamaan (11)

$$\Delta G = -RT \ln K \dots\dots\dots(12)$$

Substitusipersamaan (8) pada (12) akan menghasilkan

$$\ln K = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \dots\dots\dots(13)$$

Bila persamaan (13) diturunkan terhadap temperatur akan diperoleh

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \dots\dots\dots(14)$$

Integrasi persamaan (14) akan menghasilkan

$$\ln K = -\frac{\Delta H}{RT} + konst \dots\dots\dots(15)$$

Persamaan (15) ini dikenal sebagai persamaan van't Hoff

Hubungan antara konstanta kesetimbangan (K) dengan konstanta adsorpsi (k) pada kondisi kesetimbangan (Smith, 1970) adalah

$$\ln \frac{k_{ads}}{k_{des}} = \ln k_{ads} - \ln k_{des} = -\frac{\Delta H_{ads}}{RT} + \frac{\Delta H_{des}}{RT} \dots\dots\dots(16)$$

Maka konstanta laju adsorpsi dinyatakan melalui persamaan:

$$\ln k_{ads} = -\frac{\Delta H_{ads}}{RT} + konst \dots\dots\dots(17)$$

2.2.2 Persamaan Adsorpsi Isoterm

Gas bebas dan gas teradsorpsi berada dalam keseimbangan dinamika, dan penutupan terfraksi permukaan, bergantung pada tekanan gas pelapis. Ketergantungan θ pada tekanan dan temperatur tertentu, disebut isoterm adsorpsi.

1) Isoterm Langmuir

Isoterm paling sederhana didasarkan pada asumsi bahwa setiap tempat adsorpsi adalah ekuivalen, dan kemampuan partikel untuk terikat di tempat itu, tidak bergantung pada ditempati atau tidaknya tempat yang berdekatan.

Keseimbangan dinamika adalah



dengan konstanta laju k_a untuk adsorpsi dan k_d untuk desorpsi. Laju perubahan penutupan permukaan karena adsorpsi, sebanding dengan tekanan A sebesar p dan jumlah tempat kosong $N(1-\theta)$, dengan N merupakan jumlah tempat total:

$$\theta = k_a p N(1 - \theta)$$

Laju perubahan θ karena desorpsi, sebanding dengan jumlah spesies yang teradsorpsi, $N\theta$:

$$\theta = k_d N \theta$$

Pada keseimbangan, kedua laju itu sama, dan penyelesaian untuk θ menghasilkan isoterm Langmuir:

$$\theta = \frac{Kp}{1 + Kp} \quad K = \frac{k_a}{k_d}$$

Untuk adsorpsi dengan disosiasi, laju adsorpsinya sebanding dengan tekanan dan peluang kedua atom menemukan tempat:

$$\theta = k_a p \{N(1 - \theta)\}^2$$

Laju desorpsi sebanding dengan frekuensi pertemuan atom dengan permukaan, dan oleh karena itu berorde kedua terhadap jumlah atom yang ada:

$$\theta = k_d p (N\theta)^2$$

Syarat agar kedua laju ini sama, menghasilkan isoterm:

$$\theta = \frac{(Kp)^{1/2}}{1 + (Kp)^{1/2}}$$

Sekarang, penutupan permukaan bergantung pada tekanan dengan lebih lemah.

2) Isoterm lain

Asumsi isoterm Langmuir adalah ketergantungan dan ekuivalensi dengan tempat adsorpsi. Penyimpangan dari isoterm ini, seringkali berasal dari kegagalan asumsi tersebut. Contohnya, entalpi adsorpsi sering menjadi kurang negatif saat θ bertambah. Ini menunjukkan bahwa tempat yang paling menguntungkan dari segi energinya, akan ditempati lebih dulu. Orang mengusahakan berbagai cara untuk memperhitungkan variasi ini.

Isoterm Temkin:

$$\theta = c_1 \ln c_2 p$$

dengan c_1 dan c_2 merupakan konstanta yang sesuai dengan pengandaian bahwa entalpi adsorpsi berubah secara linear terhadap tekanan isoterm Freundlich:

$$\theta = c_1 p^{1/c_2}$$

yang sesuai dengan perubahan logaritmik. Isoterm yang berbeda-beda, lebih kurang sesuai dengan eksperimen, pada jarak temperatur terbatas, tetapi isoterm itu bersifat empiris. Walaupun empiris, bukan berarti tidak berguna, karena jika parameter dari isoterm yang dapat diandalkan itu diketahui, hasil yang diandalkan, dapat diperoleh untuk tingkat penutupan permukaan, pada berbagai kondisi (Atkins, 1997).

2.3 Pewarna Tekstil (*dyes*)

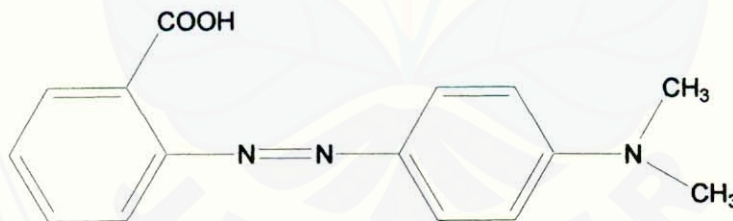
Semua komponen aromatik menyerap energi elektromagnetik, tetapi yang menyerap sinar dengan panjang gelombang pada daerah visibel (~350-700 nm) adalah yang berwarna. Zat warna mengandung kromofor dan auxokrom (Frank P. van der Zee, 2002). Kromofor adalah bagian suatu molekul zat warna organik yang menentukan zat warna itu, sedangkan auxokrom adalah suatu gugus substituen pada

sebuah molekul zat warna organik yang mengubah warna yang disebabkan oleh kromofor itu (Keenan, 1990). Pada kromofor sistem elektron terdelokalisasi dengan ikatan rangkap terkonjugasi, biasanya adalah $-C=C-$, $-C=N-$, $-C=O$, $-N=N-$, $-NO_2$ dan cincin quinoid. Pada auxokrom pelepasan elektron atau pendonor elektron substituen memperkuat warna kromofor dengan mengubah keseluruhan energi pada sistem elektron, biasanya adalah $-NH_3$, $-COOH$, $-SO_3H$ dan $-OH$ (Frank P. van der Zee, 2002).

Salah satu jenis pewarna adalah pewarna asam (*acid dyes*). Pewarna asam digunakan untuk pewarnaan kain yang mengandung nitrogen seperti wol, poliamida, sutra dan serat sintetik modifikasi. Pewarna asam adalah komponen anionik yang mengikat kation NH_4^+ dari serat tersebut. Kata asam menunjukkan pH pewarna asam dalam larutan dengan adanya gugus asam (sulfonat, karboksil) dalam struktur molekulnya (Frank P. van der Zee, 2002).

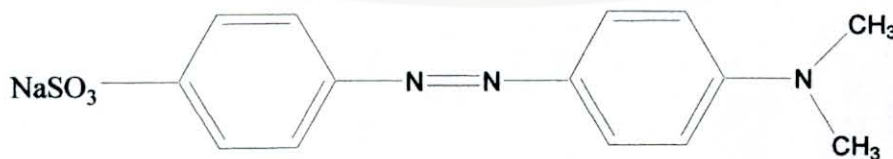
2.3.1 Struktur Zat Warna yang Digunakan

Struktur dari pewarna metil red (www.jbc.org) adalah:



Gambar 2.7 Struktur metil red

Struktur dari pewarna metil orange (www.wiley-vch.de, 2003) adalah:



Gambar 2.8 Struktur metil orange

2.4 Spektrofotometri

2.4.1 Spektrofotometri UV-Vis

Teknik spektrokopis adalah salah satu teknik fisika-kimia yang mengamati tentang interaksi atom atau molekul dengan radiasi elektromagnetik. Interaksi ini dapat berupa refleksi, refraksi dan defraksi. Cara interaksi suatu sampel dapat dengan absorpsi, pemendaran (*luminescence*), emisi dan penghamburan (*scattering*), tergantung pada sifat materi (Khopkar, 1990).

Spektrometri sinar tampak (*visible*) merupakan salah satu teknik analisa yang digunakan untuk identifikasi senyawaan kimia berwarna. Prinsip kerja dari spektrometri sinar tampak didasarkan pada besarnya energi radiasi gelombang elektromagnetik yang diserap untuk terjadinya transisi elektronik. Absorpsi dalam daerah ultraviolet dan daerah tampak menyebabkan eksitasi elektron ikatan. Puncak absorpsi (panjang gelombang maksimum) dapat dihubungkan dengan jenis ikatan-ikatan yang ada dalam spesies. Spesies yang mengabsorbpsi dapat melakukan transisi yang meliputi (a) elektron, n , π , σ (b) elektron-elektron d dan f (c) transfer muatan elektron. Apabila radiasi gelombang elektromagnetik yang dikenakan pada senyawa kimia memiliki energi yang sama dengan perbedaan energi tingkat dasar (*ground state*) dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (*exited state*) dan sebagian radiasi yang sesuai dengan panjang gelombang ini diserap. Spektrum yang terserap pada daerah visibel pada umumnya adalah 400-700 nm (Sastrohamidjojo, 1991).

Cahaya dengan panjang gelombang tertentu memiliki kuantitas tertentu pula. Kuantitas inilah yang menentukan apakah suatu spesies kimia akan menyerap ataukah meneruskan cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai (Day dan Underwood, 1986).

Pengukuran absorbansi dalam sepektrofotometri ultraviolet dan daerah tampak digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif spesies kimia (Day dan

Underwood, 1986). Warna digunakan untuk menandai porsi-porsi spektrum tertentu (Day dan Underwood, 1986) dipaparkan dalam klasifikasi kasar yaitu:

Tabel 2.2 Spektrum Tampak dan Warna-warna Komplementer

| Panjang gelombang (nm) | Warna | Warna komplementer |
|------------------------|-------------------|--------------------|
| 400-435 | Lembayung(violet) | Kuning-hijau |
| 435-480 | Biru | Kuning |
| 480-490 | Hijau-biru | Jingga |
| 490-500 | Biru-hijau | Merah |
| 500-560 | Hijau | Ungu (purple) |
| 560-580 | Kuning-hijau | Lembayung (violet) |
| 580-595 | Kuning | Biru |
| 595-610 | Jingga | Hijau-biru |
| 610-750 | Merah | Biru-Hijau |

2.4.2 Hukum Lambert-Beer

Analisis dengan spektrofotometri UV-Vis selalu melibatkan pembacaan absorban radiasi elektromagnetik oleh molekul atau radiasi elektromagnetik yang diteruskan. Keduanya dikenal sebagai absorban (A) tanpa satuan dan transmittan dengan satuan persen (%T).

Metode spektroskopi tersebut termasuk absorpsi radiasi berdasarkan hukum Lambert Beer yang menyatakan bahwa sejumlah sinar mengabsorpsi larutan yang sesuai dengan konsentrasi larutan dan panjang gelombang.

Apabila suatu radiasi elektromagnetik dikenakan pada suatu larutan dengan intensitas radiasi semula (I_0), maka sebagian radiasi tersebut akan diteruskan (I_t), dipantulkan (I_r) dan diabsorpsi (I_a), sehingga:

$$I_0 = I_r + I_a + I_t \dots \dots \dots (2.1)$$

Harga I_r ($\pm 4\%$) dengan demikian dapat diabaikan karena pengerjaan dengan metode spektrometri UV-Vis dipakai larutan pembanding, sehingga:

$$I_0 = I_a + I_t \dots\dots\dots (2.2)$$

Bouguer, Lambert dan Beer membuat formula secara matematik hubungan antara transmittan atau absorban terhadap intensitas radiasi atau konsentrasi zat yang dianalisa dan tebal larutan yang mengabsorpsi sebagai:

$$T = \frac{I_t}{I_0} = 10^{-\epsilon.c.b} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$A = \log \frac{1}{T} = \epsilon.c.b \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana T = persen transmittan

I_0 = intensitas radiasi yang datang

I_t = intensitas radiasi yang diteruskan

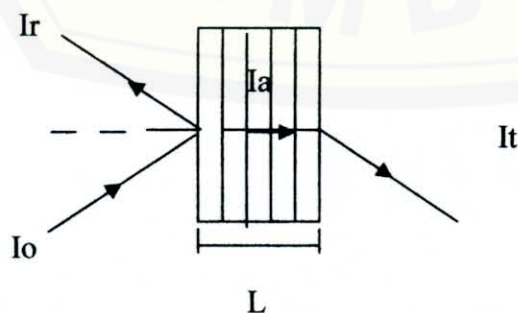
ϵ = absorbansi molar ($L.mol^{-1}cm^{-1}$)

c = konsentrasi ($mol L^{-1}$)

b = tebal larutan (cm)

A = absorban

(Mulja & Suharman, 1995)

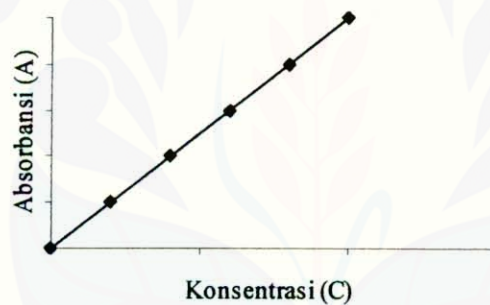


Gambar 2.9 Hukum Lambert Beer

2.4.3 Keabsahan Hukum Beer

Supaya hukum Beer dapat dipakai dengan baik, maka :

- 1) larutan yang digunakan tidak terlalu pekat,
- 2) zat yang diukur harus stabil,
- 3) cahaya yang dipakai harus monokromatis,
- 4) larutan yang diukur harus jernih (Hendayana, 1994),
- 5) selama pengukuran tidak terjadi reaksi kimia seperti polimerisasi, hidrolisis, asosiasi atau disosiasi. Jika hukum Beer benar-benar diikuti oleh suatu sistem, maka grafik antara absorbansi terhadap konsentrasi akan menghasilkan garis lurus melalui (0,0) yang disebut sebagai kurva kalibrasi (Khopkar, 2002).



Gambar 2.10 Kurva Kalibrasi



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2006 sampai dengan Mei 2007.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

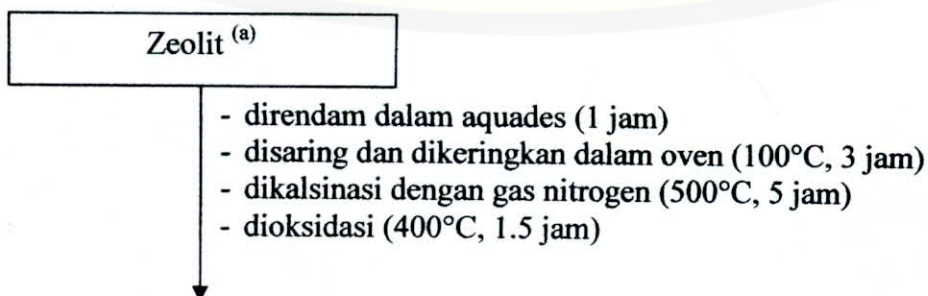
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, pipet volum, neraca analitik, termometer, reaktor aktivasi, oven, wadah plastik, kolom adsorpsi, botol semprot, pengaduk, kuvet dan spektrofotometri UV-VIS.

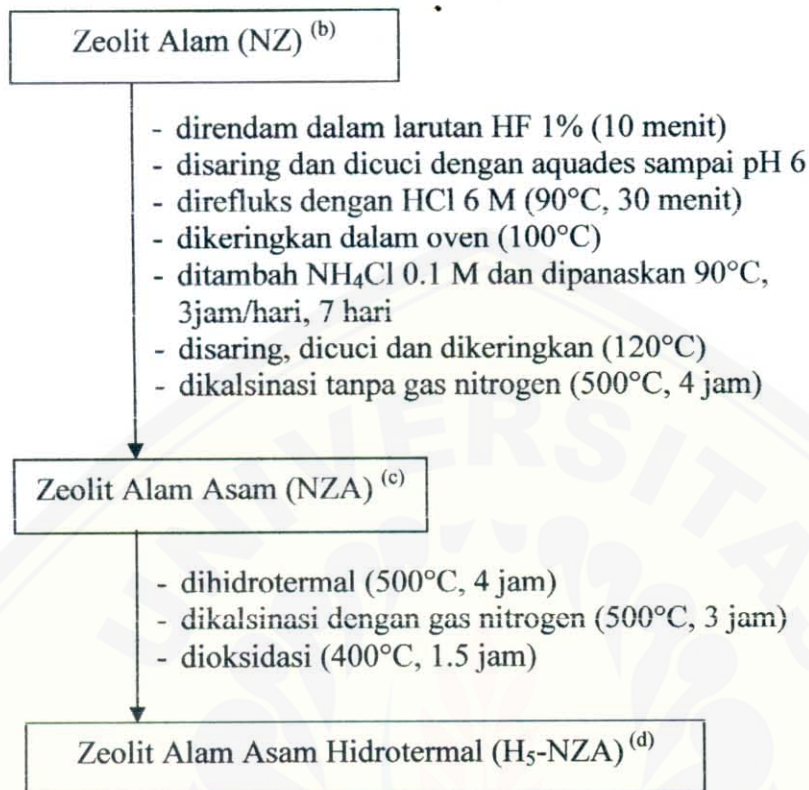
3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam dari PT. Prima Zeolita Wonosari Yogyakarta, pewarna metil red dan metil orange, gas nitrogen, gas oksigen, larutan HF 1% dan 4%, larutan HCl 6 M, larutan NH_4Cl 0.1 M, aquades, dan etanol 96%.

3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Preparasi Zeolit Alam

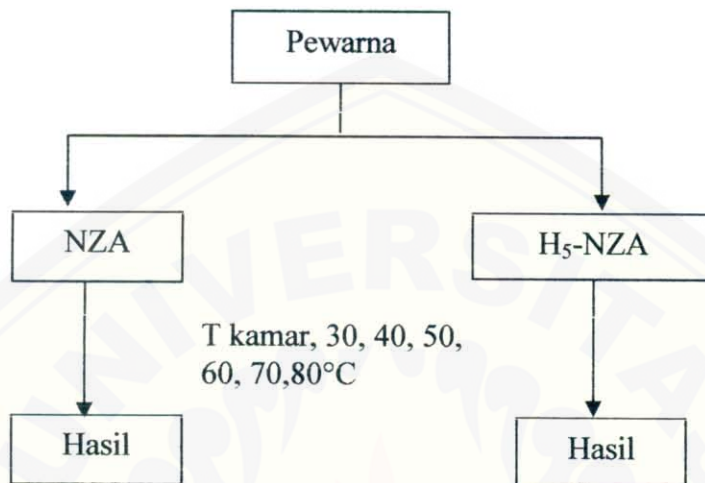




Keterangan:

- (a) = Zeolit yang diperoleh dari PT. Prima Zeolita
- (b) = Zeolit yang telah mengalami perlakuan pencucian, kalsinasi dan oksidasi
- (c) = Zeolit alam yang telah mengalami perlakuan pengasaman, kalsinasi dan oksidasi
- (d) = Zeolit alam asam yang telah mengalami perlakuan hidrotermal selama 5 jam, kalsinasi dan oksidasi

3.3.2 Adsorpsi Pewarna



3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Zeolit Alam (NZ)

Zeolit alam ukuran 100 mesh direndam dalam aquades sambil diaduk selama 1 jam pada suhu kamar, kemudian disaring. Endapan yang bersih dikeringkan dalam oven pada temperatur 100°C selama 3 jam. Kemudian dihaluskan dengan cara digerus hingga diperoleh serbuk kembali, kemudian dikalsinasi dengan dialiri gas nitrogen pada temperatur 500°C selama 5 jam, kemudian dioksidasi pada temperatur 400°C selama 1,5 jam, sehingga diperoleh zeolit alam (NZ) (gambar alat kalsinasi dan oksidasi seperti pada lampiran 1) (Setyawan, 2001).

3.4.2 Pembuatan NZA

Sampel NZ yang telah aktif direndam dalam larutan HF 1% dengan perbandingan volume 1 : 2 dalam wadah plastik, selama 10 menit pada suhu kamar. Kemudian disaring dan dicuci secara berulang-ulang dengan aquades sampai pH 6, kemudian dilakukan refluks menggunakan HCl 6 M selama 30 menit pada suhu 90°C. Setelah itu dilanjutkan dengan penyaringan dan pencucian dengan aquades dan

kemudian dikeringkan dalam oven 100°C. Kemudian hasilnya ditambahkan NH₄Cl 0,1 M dipanaskan pada suhu 90°C selama 3 jam/hari selama 7 hari. Pada saat pemanasan dilakukan penggojogan tiap 1 jam sekali. Kemudian disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH 6 kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C. Hasilnya didinginkan dan dihaluskan sehingga diperoleh serbuk kembali, kemudian dikalsinasi tanpa gas nitrogen pada suhu 500°C selama 4 jam.

3.4.3 Pembuatan H₅-NZA

Sampel NZA dihidrotermal selama 5 jam pada temperatur 500°C (gambar alat hidrotermal seperti pada lampiran 1). Hasil didinginkan dan dilanjutkan dengan proses kalsinasi dengan gas nitrogen selama 3 jam pada suhu 500°C, didinginkan kemudian dioksidasi selama 1,5 jam pada suhu 400°C. Selanjutnya didinginkan dan diperoleh H₅-NZA (Setyawan, 2001).

3.4.4 Karakterisasi Adsorben

a. Keasaman

Penentuan keasaman total adsorben dilakukan secara gravimetri atas dasar adsorpsi kimia gas amonia oleh situs asam pada permukaan adsorben. Sebanyak ±0.1 g sampel adsorben dalam cawan porselin dipanaskan sampai suhu 120 °C selama 2 jam, dinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang hingga berat tetap (W) dalam mg. Selanjutnya tempatkan dalam desikator vakum. Sampel dalam botol kaca di desikator dialiri gas NH₃ yang berasal dari pemanasan NH₄OH 25% pada suhu ±60 °C sampai kelihatan uap di dalam desikator (kondisi jenuh). Kemudian didinginkan selama 24 jam. Setelah itu sampel diangin-anginkan selama 15 menit dan ditimbang berulang-ulang setiap 15 menit hingga diperoleh berat tetap (W¹) dalam mg. Maka berat NH₃ yang teradsorpsi dalam sampel adalah sebagai berikut:

$$\Delta W = (W^1 - W) \text{ mg}$$

Dalam hal ini, keasaman didefinisikan sebagai jumlah (mmol) NH_3 yang teradsorpsi untuk setiap gram berat katalis. Sehingga jumlah asam sampel katalis untuk setiap gram katalis dihitung sebagai berikut :

$$\text{Keasaman} = \frac{\text{Berat } \text{NH}_3 (\Delta W)}{\text{BM } \text{NH}_3 \times \text{Berat zeolit } (W)}$$

b. Penentuan Luas Permukaan Spesifik dan Rata-rata Jejari Pori.

Luas permukaan spesifik, volume total pori, dan distribusi ukuran pori didasarkan pada fenomena adsorpsi gas lapis tunggal yang berlangsung pada suhu konstan. Alat yang digunakan adalah *Surface Area Analyzer* NOVA 1000 yang berada di Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta, BATAN, Yogyakarta. Sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam wadah sampel dan selanjutnya dipanaskan pada suhu $200\text{ }^\circ\text{C}$ dengan dilakukan pengusiran gas-gas lain dengan gas nitrogen selama 45 menit. Kemudian sampel didinginkan dengan nitrogen cair sehingga suhu sampel mencapai 77 K ($-196\text{ }^\circ\text{C}$). Tekanan gas nitrogen diubah sehingga jumlah gas nitrogen yang terkondensasi dapat ditentukan. Dengan diperolehnya data tersebut, maka luas permukaan spesifik, rata-rata jejari pori, dan volume total pori dapat ditentukan

3.4.5 Preparasi Larutan Standar Zat Warna

- Methyl Red

Pembuatan larutan dengan konsentrasi 2ppm, 4ppm, 6ppm, 8ppm, 10ppm. 1 gram methyl red dilarutkan dalam etanol 1 liter maka diperoleh larutan methyl red dengan konsentrasi 1000ppm. Dengan pengenceran dibuat larutan dengan konsentrasi 2ppm, 4ppm, 6ppm, 8ppm, 10ppm.

- Methyl Orange

Pembuatan larutan dengan konsentrasi 2ppm, 4ppm, 6ppm, 8ppm, 10ppm. 1 gram methyl orange dilarutkan dalam akuades 1 liter maka

diperoleh larutan methyl orange dengan konsentrasi 1000ppm. Dengan pengenceran dibuat larutan dengan konsentrasi 2ppm, 4ppm, 6ppm, 8ppm, 10ppm.

3.4.6 Penentuan Panjang Gelombang Untuk Serapan Maksimum

Penentuan panjang gelombang untuk serapan maksimum dengan cara pengukuran serapan pada panjang gelombang visible antara 400-700 nm. Serapan maksimum yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan panjang gelombang maksimumnya (λ_{max})

3.4.7 Pembuatan Kurva Standar (pada λ_{max})

Pengukuran absorbansi larutan standar dengan konsentrasi 2ppm, 4ppm, 6ppm, 8ppm, 10ppm. Data yang diperoleh dibuat kurva standar antara absorbansi vs konsentrasi.

3.4.8 Pengukuran zat warna yang terserap oleh zeolit

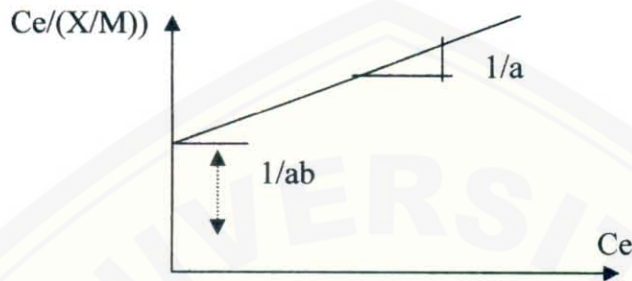
Sampel larutan pewarna 80 mL, 10 ppm dialirkan dengan laju alir 2 mL/menit pada reaktor yang telah diisi 10 g NZA atau H₅-NZA dengan ukuran ≥ 100 mesh. Suhu reaktor bervariasi, yaitu pada T kamar, 30, 40, 50, 60, 70 dan 80°C. Pemanasan reaktor dilakukan dengan penangas air. Hasil ditampung dan tiap 5 mL dianalisa dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Konsentrasi zat warna yang terserap dapat dicari dari kurva larutan standar.

3.4.9 Penentuan Kapasitas Adsorpsi menggunakan persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich

Kapasitas adsorpsi dari zeolit ditentukan dengan persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich. Data-data yang didapat kemudian diolah dengan persamaan Langmuir yaitu, (Mulyatna, 2003):

$$\frac{C_e}{X/M} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} C_e$$

Dengan memplot $C_e/(X/M)$ terhadap C_e seperti gambar dibawah ini maka diperoleh nilai a dan b.

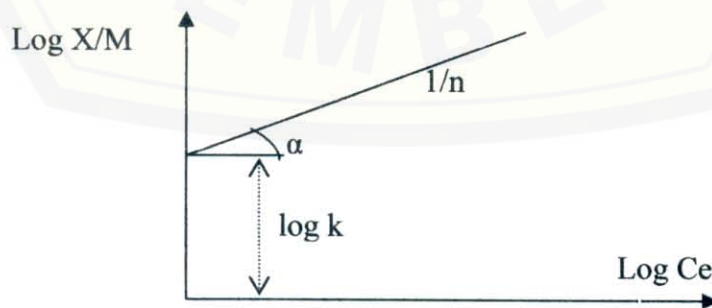


Gambar 3.1
Penentuan Konstanta a dan b

Untuk Persamaan Freundlich menggunakan persamaan sebagai berikut (Mulyatna, 2003):

$$X/M = k.C_e^{1/n}$$

Dimana X/M adalah mg zat warna yang diserap per gram zeolit dengan C_e adalah konsentrasi zat warna dalam larutan setelah diadsorpsi serta (k,n) dan (a,b) merupakan konstanta yang tergantung pada suhu, jenis adsorbat dan adsorben. Untuk menunjukkan harga n dan k dari persamaan di atas dapat ditentukan secara grafik dengan memplot antara log X/M terhadap log C_e yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.2
Penentuan Konstanta k dan n



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas adsorpsi adsorben NZA terhadap methyl red dan methyl orange lebih besar daripada adsorben H₅-NZA, sedangkan kapasitas adsorpsi kedua adsorben tersebut lebih besar pada methyl red dibanding methyl orange pada range temperatur 27°C-80°C.
2. Kapasitas adsorpsi NZA dan H₅-NZA terhadap methyl red dan methyl orange cenderung menurun dengan peningkatan temperatur dari 27°C-80°C.
3. Dalam menentukan kapasitas adsorpsi adsorben NZA dan H₅-NZA terhadap zat warna jenis methyl red dan methyl orange lebih sesuai menggunakan persamaan Freundlich isoterm.

5.2 Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan zeolit sebagai adsorben methyl red dan methyl orange dengan pengaruh variabel yang lain.
2. Perlu dilakukan koreksi terhadap kolom dan temperatur adsorpsi sehingga adsorpsi dapat lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P.W., 1997, **Kimia Fisika, Jilid II**. Edisi Keempat. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Augustine, R.L., 1996, **Heterogeneous Catalysis for Chemist**, New York: Marcel Dekker Inc.
- Bird, T. 1993. **Kimia Fisik untuk Universitas**. Terjemahan K.I. Tjien dari Physical Chemistry. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Campbell, I. M., 1988, **Catalysis at Surface**. New York: Chapman and Hall Btd.
- Daniel, F. dan Alberty, R.A. 1987. **Kimia Fisika**. Terjemahan N.M. Surdia dari Physical Chemistry. Jakarta: Erlangga.
- Day, R.A. dan Underwood, A.L. 1986. **Analisa Kimia Kuantitatif**. Edisi ke-5 Terjemahan Pujaatmaka, A.H. Jakarta: Erlangga.
- Frank P. van der Zee, 2002. **Anaerobic Azo Dye Reduction**. The Netherlands: Wageningen University.
- Giuseppe Marci1, Vincenzo Augugliaro1, Alessandra Bianco Prevot2, Claudio Baiocchi2, Elisa García-López1, Vittorio Loddò1, Leonardo Palmisano(°)1, Edmondo Pramauro2 And Mario Schiavello1, 2003, **Photocatalytic Oxidation Of Methyl-Orange In Aqueous Suspension: Comparison Of The Performance Of Different Polycrystalline Titanium Dioxide**, Italy: Università degli Studi di Palermo. [serial on line]
http://www.wiley-vch.de/vch/journals/2294/2294_sample.pdf
- Hamdan, H., 1992, **Introduction to Zeolit : Synthesis, Characterization, and Modification**, Malaysia: University Teknologi Malaysia.
- Hendayana, Sumar Dr dkk., 1994. **Kimia Analitik Instrumen**. Edisi kesatu. Semarang : IKIP Semarang Press.

- Suzuki, Y., Yoda, T., Ruhul, A., and Sugiura, W. 2001. **J. Biol. Chem.** 276, 9059-9065
J. Biol. Chem., Vol. 276, Issue 49, 46394-46399, December 7, 2001,
[serial online] <http://www.jbc.org/cgi/content/full/276/49/46394#FS1>
- Keenan, 1990. **Ilmu Kimia untuk Universitas, Jilid I**. Edisi keenam. Terjemahan A. Hadyana Pudjaatmaka Ph.D dari General College Chemistry (1980). Jakarta: Penerbit Erlangga
- Khopkar, S.M. 1990. **Konsep Dasar Kimia Analitik**. Terjemahan A. Saptorahardjo dari Basic Concepts of Analytical Chemistry (1985). Jakarta: UI-Press.
- Lili Mulyatna, Hary Pradiko dan Umi Kalsum Nasution, 2003, **Pemilihan Persamaan Isoterm pada Penentuan Kapasitas Adsorpsi Kulit Kacang Tanah terhadap Zat Warna Remazol Golden Yellow 6**, Infomatek, Volume 5 Nomor 3 september 2003, [serial on line]
http://www.unpas.ac.id/baa/home/downloadfile/jurnal_V_3-3.pdf.-
- Lowell, S., and J.E. Shields., 1984, **Powder Surface Area and Porosity**, Edisi II, New York: Chapman and Hall
- Mulja, Muhammad, H & Suharman. 1995. **Analisis Instrumental**. Surabaya: Universitas Airlangga Press.
- Priatmoko, S. 2000. **Optimasi dan Studi Kinetika Reaksi Konversi 3-metil-1-butanol Menggunakan Katalis Pt/Zeolit Alam**, Tesis, Yogyakarta: F-MIPA UGM. (tidak dipublikasikan)
- Rodhie Saputra, -, **Pemanfaatan Zeolit Sintesis sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri**, Yogyakarta: UGM
<http://www.warmada.staff.ugm.ac.id/Articles/rodhiezeolit.pdf#search=%22adsorpsi%20temperatur%22>
- S.P. Raghuvansi - R. Singh – C.P. Kaushik, 2004, **Kinetics Study of Methylene Blue Dye Bioadsorption on Baggase**, India: Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi. [serial on line]
<http://www.ecology.kee.hu/pdf/03035043.pdf#search=%22%5Bpdf%5D%20temperature%20adsorption%20of%20dyes%22>, 16 Juni 2004
- Sasongko, N. 1995. **Mineralogi dan Kimia Fisik Kalium dalam Tanah**. Jember: Fakultas Pertanian Universitas Jember.

- Sastrohamidjojo, H. 1991. **Spektroskopi**. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Satterfield, C.N., 1980, **Heterogeneous Catalysis in Practice**, Edisi I, New York: McGraw Hill Inc.
- Setyawan, D., 2001, **Tesis Modifikasi Zeolit Alam dan Karakterisasinya sebagai Katalis Perengkahan Asap Cair Kayu Bengkirai**, Yogyakarta: Program Pasca Sarjana UGM. (tidak dipublikasikan)
- Smith, K., 1992, **Solid Support and Catalyst in Organic Synthesis**, . London: Ellis Horwood PTR, Prentice Hall.
- Soekardjo. 1985. **Kimia Anorganik**. Jakarta: Rineka Cipta
- Sutarti, M dan Rachmawati, M., 1994, **Zeolit: Tinjauan Literatur**, Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah, LIPI

LAMPIRAN 1

A. Data Adsorben

A.1 Data Keasaman Adsorben

| Adsorben | ulangan | zeolit (g) | NH3 (g) | keasaman (mmol/g) | rata-rata | standar deviasi |
|---------------------|---------|------------|---------|-------------------|-----------|------------------------|
| NZ | I | 0,4780 | 0,0179 | 2,2028 | 2,2044 | $2,7934 \cdot 10^{-3}$ |
| | II | 0,4821 | 0,0180 | 2,1963 | | |
| | III | 0,4809 | 0,0181 | 2,2139 | | |
| NZA | I | 0,5000 | 0,0511 | 6,0170 | 6,0011 | $1,4022 \cdot 10^{-2}$ |
| | II | 0,4952 | 0,0508 | 5,9958 | | |
| | III | 0,4738 | 0,0509 | 5,9905 | | |
| H ₅ -NZA | I | 0,4983 | 0,0646 | 7,6241 | 7,6199 | $8,1242 \cdot 10^{-3}$ |
| | II | 0,4521 | 0,0585 | 7,6105 | | |
| | III | 0,4583 | 0,0594 | 7,6250 | | |

A.2 Frekuensi Distribusi Pori

| Ukuran pori | Adsorben | | |
|-------------|------------|------------|---------------------|
| | NZ | NZA | H ₅ -NZA |
| 10-20 | 88,443111 | 99,773092 | 150,773092 |
| 21-30 | 96,521239 | 106,521239 | 128,85122 |
| 31-40 | 80,354306 | 116,354306 | 136,354306 |
| 41-50 | 37,431702 | 57,431702 | 77,431702 |
| 51-60 | 42,499136 | 31,509624 | 90,509624 |
| 61-70 | 48,010488 | 0 | 0 |
| 71-80 | 55,665211 | 16,57969 | 35,57969 |
| 81-90 | 0 | 0 | 0 |
| 91-100 | 0 | 0 | 0 |
| 100-500 | 177,848141 | 35,410634 | 0 |
| 500< | 0 | 18,74412 | 0 |

A.3 Luas Permukaan Spesifik (LPS) Adsorben

| Adsorben | LPS (m ² /gram) |
|---------------------|-----------------------------|
| NZ | 20,526000 |
| NZA | 164,053020 |
| H ₅ -NZA | 160,654162 |

A. 4. Data Hasil analisis Ukuran Pori adsorben Zeolit Alam (NZ)

Quantachrome Corporation
NOVA Data Analysis Package Ver.2.00
File Name = nz.dat

| | | | |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| User ID | = Setiawan | User Setup | |
| Sample ID | = NZ | Sample Cell Number | =4 |
| Sample Weight | = 0.3588 g | Sample Volume | = 0.4429 cc |
| Sample Density | = 1.0000 g/cc | | |
| Po Type | = User | Po | = 750.49 mm Hg |
| Adsorbate | = N ₂ | Bath Temperature | = 77.40 deg K |
| Adsorption Tolerance | = 0.1000 mm Hg | Desorption Tolerance | = 0.1000 mm Hg |
| Adsorption Equil Time | = 60 sec | Desorption Equil Time | = 60 sec |
| Adsorption Dwell Time | = 180 sec | Desorption Dwell Time | = 180 sec |
| Analysis Start Time | = Wed Sep 7 10:12:31 2005 | Analysis End Time | = Wed Sep 7 12:14:28 2005 |

| P/Po | Multi BET (Adsorption) | BET Transform (1/{W[Po/P-1]}) |
|-------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 0.146822 | | 21.988869 |
| 0.200137 | | 29.413 737 |
| 0.250914 | | 36.6831 10 |
| 0.300011 | | 23.975607 |
| Slope | = | 14.3451941 |
| Intercept | = | 0.814537 |
| Correlation Coefficient | = | 0.999895 |
| BET C | = | 177.114673 |
| Surface Area | = | 8.661242 sq m |
| Specific Surface Area | = | 20.52600 sq m/g |

Quantachrome Corporation
NOVA Data Analysis Package Ver.2.00
File Name = nz.dat

| | | | |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| User ID | = Setiawan | User Setup | = 2 |
| Sample ID | = NZ | Sample Cell Number | |
| Sample Weight | = 0.3588 g | Sample Volume | = 0.4429 cc |
| Sample Density | = 1.0000 g/cc | | |
| Po Type | = User | Po | = 0.49 mm Hg |
| Adsorbate | = N2 | Bath Temperature | = 77.40 deg K |
| Adsorption Tolerance | = 0.1000 mm Hg | Desorption Tolerance | = 0.1000 mm Hg |
| Adsorption Equil Time | = 60 sec | Desorption Equil Time | = 60 sec |
| Adsorption Dwell Time | = 180 sec | Desorption Dwell Time | = 180 sec |
| Analysis Start Time | = Wed Sep 7 10:12:31 2005 | Analysis End Time | = Wed Sep 7 12:14:28 2005 |

| Pore Radius (Ang) | DlogR (Adsorption) Pore Area (sq m/g e-03) | Pore Volume (cc/g e-03) |
|----------------------|--|----------------------------|
| 355.052740 | 2874.828685 | 51.035790 |
| 153.613996 | 8210.199508 | 63.030078 |
| 102.083760 | 12496.066440 | 63.782273 |
| 76.106313 | 14528.276842 | 55.665211 |
| 61.549083 | 15600.699640 | 48.010488 |
| 51.395116 | 16538.199984 | 42.499136 |
| 43.956974 | 17031.063780 | 37.431702 |
| 38.684472 | 20293.315774 | 39.251810 |
| 34.242454 | 29758.188671 | 50.949670 |
| 30.680089 | 13137.397102 | 20.152826 |
| 27.917560 | 18261.095285 | 25.490261 |
| 25.610463 | 18992.705393 | 24.320599 |
| 23.581324 | 19900.692544 | 23.464234 |
| 21.745125 | 21380.557509 | 23.246145 |
| 20.1093 54 | 22208.551399 | 22.329981 |
| 18.676918 | 23428.011809 | 21.878153 |
| 17.3 89429 | 29488.129948 | 25.639088 |
| 16.199192 | 32283.538594 | 26.148362 |
| 15.095822 | 32826.974242 | 24.777508 |

Total Pore Volume is 22.237221 e-03 cc/g for all pores less than 499.345018 Angstrom
Average Pore Radius is 21.667327 Angstrom

A.5 Data Hasil Analisis Ukuran Pori adsorben NZA (Zeolit Alam Asam)

Quantachrome Corporation
NOVA Data Analysis Package Ver.2.00
File Name = anynza.dat

| | | | |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| User ID | = Any Rahmawati | User Setup | = 5 |
| Sample ID | = NZA | Sample Cell Number | = 2 |
| Sample Weight | = 0.5190 g | Sample Volume | = 0.5190 cc |
| Sample Density | = 1.0000 g/cc | | |
| Po Type | = User | Po | = 749.19 mm Hg |
| Adsorbate | = N ₂ | Bath Temperature | = 77.40 deg K |
| Adsorption Tolerance | = 0.1000 mm Hg | Desorption Tolerance | = 0.0000 mm Ha |
| Adsorption Equil Time | = 60 sec | Desorption Equil Time | = 60 sec |
| Adsorption Dwell Time | = 180 sec | Desorption Dwell Time | = 180 sec |
| Analysis Start Time | = Thu Jan 04 10:27:31 2007 | Analysis End Time | = Thu Jan 04 11:28:12 2007 |

Multi BET (Adsorption)
P/Po

BET Transform
(1/{W[Po/P-1]})

| | |
|-------------------------|---------------------|
| 0.049908 | 0.833201 |
| 0.067516 | 1.016924 |
| 0.094231 | 1.995698 |
| 0.149301 | 3.126871 |
| Slope | = 19.441336 |
| Intercept | = 0.000312 |
| Correlation Coefficient | = 0.999919 |
| BET C | = 5878.628870 |
| Surface Area | = 24.291945 sq m |
| Specific Surface Area | = 164.053020 sq m/g |

Quantachrome Corporation
NOVA Data Analysis Package Ver.2.00
File Name = anynza.dat

| | | | |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| User ID | = Any Rahmawati | User Setup | = 5 |
| Sample ID | = NZA | Sample Cell Number | = 2 |
| Sample Weight | = 0.5190 g | Sample Volume | = 0.5190 cc |
| Sample Density | = 1.0000 g/cc | | |
| Po Type | = User | Po | = 749.19 mm Ha |
| Adsorbate | = N2 | Bath Temperature | = 77.40 deg K |
| Adsorption Tolerance | = 0.1000 mm Hg | Desorption Tolerance | = 0.0000 mm Hg |
| Adsorption Equil Time | = 60 sec | Desorption Equil Time | = 60 sec |
| Adsorption Dwell Time | = 180 sec | Desorption Dwell Time | = 180 sec |
| Analysis Start Time | = Thu Jan 04 10:27:31 2007 | Analysis End Time | = Thu Jan 04 11:28:12 2007 |

| Pore Radius (Ang) | DlogR (Adsorption) | | Pore Volume (cc/g e-03) |
|----------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | Pore Area (sq m/g e-03) | |
| 679.205565 | | 14283.718181 | 18.744120 |
| 176.585821 | | 14262.822520 | 18.091898 |
| 107.370671 | | 14188.256867 | 17.396116 |
| 76.106313 | | 9361.722302 | 16.979690 |
| 58.119571 | | 15600.699640 | 15.010478 |
| 51.395116 | | 16538.199984 | 15.459106 |
| 43.956974 | | 17031.063780 | 54.921712 |
| 38.684472 | | 20293.315774 | 22.211810 |
| 34.242454 | | 29758.188671 | 51.109630 |
| 30.680089 | | 13137.397102 | 41.151822 |
| 27.917560 | | 18261.095285 | 20.290861 |
| 25.610463 | | 18992.705393 | 19.120799 |
| 23.581324 | | 19900.692544 | 28.164134 |
| 21.745125 | | 21380.557509 | 38.246145 |
| 19.993040 | | 22208.551399 | 12.723981 |
| 18.676918 | | 23428.011809 | 11.878153 |
| 17.389429 | | 29488.129948 | 25.239081 |
| 14.882980 | | 4008.850006 | 25.145360 |
| 13.792454 | | 2327.590571 | 24.527518 |

Total Pore Volume is 209.581132e-03 cc/g for
all pores less than 690.320904 Angstrom
Average Pore Radius is 11.282316 Angstrom

A.6 Data Hasil analisis Ukuran Pori Adsorben H5-NZA (Zeolit Alam Asam Hidrotermal)

Quantachrome Corporation

NOVA Data Analysis Package Ver.2.00

File Name =anyh5nza.dat

| | | | |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| User ID | = Any Rahmawati | User Setup | = 5 |
| Sample ID | = H5-NZA | Sample Cell Number | = 4 |
| Sample Weight | = 0.5190 g | Sample Volume | = 0.5190 cc |
| Sample Density | = 1.0000 g/cc | | |
| Po Type | = User | Po | = 749.19 mm Hg |
| Adsorbate | = N2 | Bath Temperature | = 77.40 deg Kecamatan |
| Adsorption Tolerance | = 0.1000 mm Hg | DesorptionTolerance | = 0.0000 mm Hg |
| Adsorption Equil Time | = 60 sec | Desorption Equil Time | = 60 sec |
| Adsorption Dwell Time | = 180 sec | Desorption Dwell Time | = 180 sec |
| Analysis Start Time | = Thu Jan 04 11:53:58 2007 | Analysis End Time | = Thu Jan 04 12:48:02 2007 |

| P/Po | Multi BET (Adsorption) | BET Transform (1/{W[Po/P-]})) |
|-------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 0.041018 | | 0.833201 |
| 0.094231 | | 1.995698 |
| 0.149301 | | 3.126871 |
| Slope | = | 20.994271 |
| Intercept | = | 0.000637 |
| Correlation Coefficient | = | 0.999919 |
| BET C | = | 22940.819862 |
| Surface Area | = | 26.827693 sq m |
| Specific Surface Area | = | 160.654162 sq m/g |

• Quantachrome
NOVA Data Analysis Package Ver. 2.00
File Name = anyh5nza.dat

| | | | |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| User ID | = Any Rahmawati | User Setup | = 5 |
| Sample ID | = H5-NZA | Sample Cell Number | = 4 |
| Sample Weight | = 0.5190 g | Sample Volume | = 0.5190 cc |
| Sample Density | = 1.0000 g/cc | | |
| Po Type | = User | Po | = 749.19 mm Hg |
| Adsorbate | = N2 | Bath Temperature | = 77.40 deg K |
| Adsorption Tolerance | = 0.1000 mm Hg | Desorption Tolerance | = 0.0000 mm Hg |
| Adsorption Equil Time | = 60 sec | Desorption Equil Time | = 60 sec |
| Adsorption Dwell Time | = 180 sec | Desorption Dwell Time | = 180 sec |
| Analysis Start Time | = Thu Jan 04 11:53:58 2007 | Analysis End Time | = Thu Jan 04 12:48:02 2007 |

| Pore Radius (Ang) | DlogR (Adsorption) Pore Area (sq m/g e-03) | Pore Volume (cc/g e-03) |
|----------------------|--|----------------------------|
| 368.009021 | 1071.943056 | 18.724236 |
| 152.571542 | 3974.785129 | 30.321955 |
| 101.460451 | 6491.990036 | 32.934012 |
| 76.106313 | 9361.722302 | 35.579690 |
| 58.1 19571 | 15600.699640 | 48.010488 |
| 51.395116 | 16538.199984 | 42.499136 |
| 43.956974 | 17031.063780 | 77.431702 |
| 38.684472 | 20293.315774 | 49.251810 |
| 34.242454 | 29758.188671 | 60.949670 |
| 30.680089 | 13137.397102 | 20.152826 |
| 27.917560 | 18261.095285 | 35.490261 |
| 25.610463 | 18992.705393 | 34.320599 |
| 23.581324 | 19900.692544 | 33.464234 |
| 21.745125 | 21380.557509 | 23.246145 |
| 19.993040 | 22208.551399 | 32.329981 |
| 18.676918 | 23428.011809 | 31.878153 |
| 17.3 89429 | 29488.129948 | 35.639088 |
| 16.199192 | 32283.538594 | 26.148362 |
| 15.095822 | 32826.974242 | 24.777508 |

Total Pore Volume is 217.135401 e-03 cc/g for
all pores less than 652.305912 Angstrom
Average Pore Radius is 11.464159 Angstrom

B. PERHITUNGAN

B.1 Perhitungan Keasaman Adsorben

Keasaman total zeolit dihitung dengan persamaan sbb :

$$\text{Keasaman} = \frac{\text{Berat } \text{NH}_3}{\text{BM } \text{NH}_3 \times \text{Berat zeolit}}$$

Maka keasaman total masing-masing zeolit adalah:

1. Zeolit Alam Asam (NZA)
 - a. Zeolit Alam Asam ($W_{\text{zeolit}} = 0.5000 \text{ g}$)
Berat (W) $\text{NH}_3 = 0.0511 \text{ g}$

$$\begin{aligned} \text{Keasaman} &= \frac{0.0511 \text{ g}}{17 \text{ g/mol} \times 0.5000 \text{ g}} \\ &= 6.0170 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

- b. Zeolit Alam ($W_{\text{zeolit}} = 0.4982 \text{ g}$)
Berat (W) $\text{NH}_3 = 0.0508 \text{ g}$

$$\begin{aligned} \text{Keasaman} &= \frac{0.0508 \text{ g}}{17 \text{ g/mol} \times 0.4982 \text{ g}} \\ &= 5.9958 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

- c. Zeolit Alam ($W_{\text{zeolit}} = 0.4738 \text{ g}$)
Berat (W) $\text{NH}_3 = 0.0509 \text{ g}$

$$\begin{aligned} \text{Keasaman} &= \frac{0.0509 \text{ g}}{17 \text{ g/mol} \times 0.4738 \text{ g}} \\ &= 5.9905 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keasaman rata-rata ZA} &= \frac{(6.0170 + 5.9958 + 5.9905) \text{ mmol/g}}{3} \\ &= 6.0011 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

Jadi, Zeolit Alam Asam (NZA) memiliki keasaman total rata-rata sebesar 6.0011 mmol/g .

2. Zeolit Alam Asam Hidrotermal (H₅-NZA)

- a. Zeolit Alam Asam Hidrotermal ($W_{\text{zeolit}} = 0.4983 \text{ g}$)
Berat (W) NH₃ = 0.0646 g

$$\begin{aligned} \text{Keasaman} &= \frac{0.0646 \text{ g}}{17 \text{ g/mol} \times 0.4983 \text{ g}} \\ &= 7.6241 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

- b. Zeolit Alam Asam Hidrotermal ($W_{\text{zeolit}} = 0.4521 \text{ g}$)
Berat (W) NH₃ = 0.0585 g

$$\begin{aligned} \text{Keasaman} &= \frac{0.0585 \text{ g}}{17 \text{ g/mol} \times 0.4521 \text{ g}} \\ &= 7.6105 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

- c. Zeolit Alam Asam Hidrotermal ($W_{\text{zeolit}} = 0.4583 \text{ g}$)
Berat (W) NH₃ = 0.0594 g

$$\begin{aligned} \text{Keasaman} &= \frac{0.0594 \text{ g}}{17 \text{ g/mol} \times 0.4583 \text{ g}} \\ &= 7.6250 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keasaman rata-rata H}_5\text{-NZA} &= \frac{(7.6241+7.6105+7.6250) \text{ mmol/g}}{3} \\ &= 7.6199 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

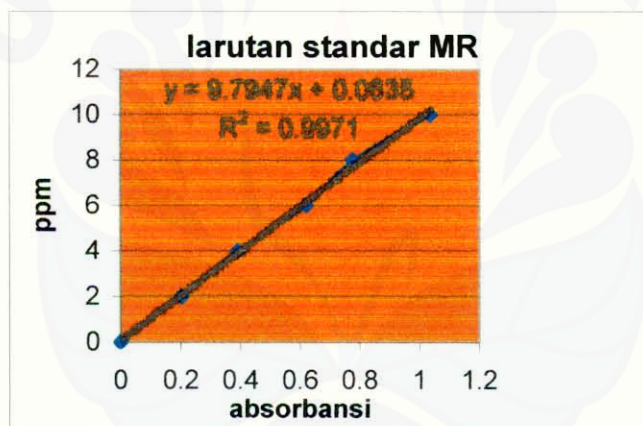
Jadi, Zeolit Alam Asam Hidrotermal (H₅-NZA) memiliki keasaman total rata-rata sebesar 7.6199 mmol/g.

Lampiran 2.

A. Larutan standar MR

Tabel absorbansi larutan standar methyl red (λ 490nm)

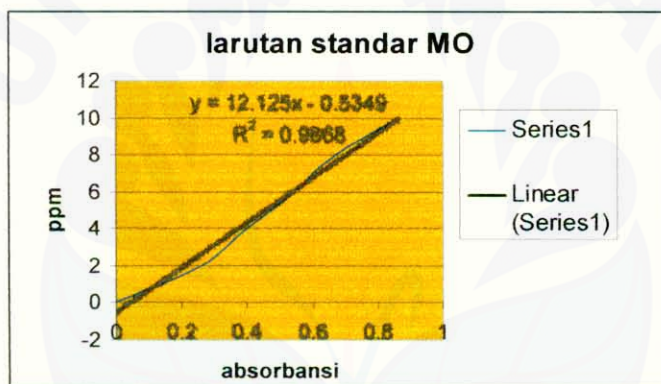
| ppm | absorbansi | | | |
|-----|------------|-------|-------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata |
| 10 | 1.035 | 1.037 | 1.036 | 1.036 |
| 8 | 0.772 | 0.777 | 0.776 | 0.775 |
| 6 | 0.621 | 0.620 | 0.619 | 0.620 |
| 4 | 0.390 | 0.389 | 0.391 | 0.390 |
| 2 | 0.204 | 0.204 | 0.201 | 0.203 |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |



B. Larutan Standar MO

Tabel absorbansi larutan standar methyl orange (λ 460nm)

| ppm | absorbansi | | | |
|-----|------------|-------|-------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata |
| 10 | 0.868 | 0.860 | 0.864 | 0.864 |
| 8 | 0.675 | 0.674 | 0.670 | 0.673 |
| 6 | 0.543 | 0.538 | 0.542 | 0.541 |
| 4 | 0.338 | 0.403 | 0.403 | 0.400 |
| 2 | 0.259 | 0.262 | 0.262 | 0.261 |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |



Lampiran 3.

A. Data serapan MO oleh NZA

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.500 | 0.501 | 0.499 | 0.500 | 5.528 | 4.472 |
| 2 | 0.575 | 0.574 | 0.576 | 0.575 | 6.437 | 3.563 |
| 3 | 0.684 | 0.682 | 0.682 | 0.683 | 7.747 | 2.253 |
| 4 | 0.716 | 0.718 | 0.717 | 0.717 | 8.159 | 1.841 |
| 5 | 0.752 | 0.750 | 0.754 | 0.752 | 8.583 | 1.417 |
| 6 | 0.784 | 0.782 | 0.786 | 0.784 | 8.971 | 1.029 |
| 7 | 0.792 | 0.790 | 0.792 | 0.792 | 9.068 | 0.932 |
| 8 | 0.800 | 0.802 | 0.804 | 0.802 | 9.189 | 0.811 |
| 9 | 0.832 | 0.834 | 0.830 | 0.832 | 9.553 | 0.447 |
| 10 | 0.836 | 0.834 | 0.834 | 0.835 | 9.590 | 0.410 |

absorbansi MO-NZA pada T kamar=27°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.457 | 0.458 | 0.459 | 0.458 | 5.018 | 4.982 |
| 2 | 0.621 | 0.619 | 0.620 | 0.620 | 6.983 | 3.017 |
| 3 | 0.680 | 0.678 | 0.681 | 0.680 | 7.710 | 2.290 |
| 4 | 0.732 | 0.730 | 0.734 | 0.732 | 8.341 | 1.659 |
| 5 | 0.760 | 0.758 | 0.756 | 0.758 | 8.656 | 1.344 |
| 6 | 0.770 | 0.772 | 0.774 | 0.772 | 8.826 | 1.174 |
| 7 | 0.786 | 0.784 | 0.788 | 0.786 | 8.995 | 1.005 |
| 8 | 0.798 | 0.800 | 0.802 | 0.800 | 9.165 | 0.835 |
| 9 | 0.804 | 0.804 | 0.802 | 0.803 | 9.202 | 0.798 |
| 10 | 0.806 | 0.808 | 0.806 | 0.807 | 9.250 | 0.750 |

absorbansi MO-NZA pada T =30°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|-----------|----------------|-------|-------|---------------|------------------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata- rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.518 | 0.516 | 0.517 | 0.517 | 5.734 | 4.266 |
| 2 | 0.609 | 0.607 | 0.608 | 0.608 | 6.837 | 3.163 |
| 3 | 0.686 | 0.687 | 0.690 | 0.688 | 7.807 | 2.193 |
| 4 | 0.744 | 0.748 | 0.746 | 0.746 | 8.510 | 1.490 |
| 5 | 0.770 | 0.772 | 0.768 | 0.770 | 8.801 | 1.199 |
| 6 | 0.774 | 0.776 | 0.778 | 0.776 | 8.874 | 1.126 |
| 7 | 0.802 | 0.800 | 0.801 | 0.801 | 9.177 | 0.823 |
| 8 | 0.816 | 0.814 | 0.818 | 0.816 | 9.359 | 0.641 |
| 9 | 0.832 | 0.830 | 0.834 | 0.832 | 9.553 | 0.447 |
| 10 | 0.832 | 0.834 | 0.834 | 0.833 | 9.565 | 0.435 |

absorbansi MO-NZA pada T =40°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|-----------|----------------|-------|-------|---------------|------------------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata- rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.515 | 0.514 | 0.516 | 0.515 | 5.710 | 4.290 |
| 2 | 0.632 | 0.629 | 0.631 | 0.631 | 7.116 | 2.884 |
| 3 | 0.698 | 0.700 | 0.702 | 0.700 | 7.953 | 2.047 |
| 4 | 0.756 | 0.754 | 0.758 | 0.756 | 8.632 | 1.368 |
| 5 | 0.800 | 0.802 | 0.798 | 0.800 | 9.165 | 0.835 |
| 6 | 0.822 | 0.820 | 0.821 | 0.821 | 9.420 | 0.580 |
| 7 | 0.828 | 0.830 | 0.828 | 0.829 | 9.517 | 0.483 |
| 8 | 0.836 | 0.838 | 0.834 | 0.836 | 9.602 | 0.398 |
| 9 | 0.838 | 0.836 | 0.834 | 0.836 | 9.602 | 0.398 |
| 10 | 0.834 | 0.836 | 0.834 | 0.835 | 9.590 | 0.410 |

absorbansi MO-NZA pada T =50°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|-----------|----------------|-------|-------|---------------|------------------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata- rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.581 | 0.582 | 0.581 | 0.581 | 6.510 | 3.490 |
| 2 | 0.654 | 0.656 | 0.655 | 0.655 | 7.407 | 2.593 |
| 3 | 0.726 | 0.724 | 0.722 | 0.724 | 8.244 | 1.756 |
| 4 | 0.774 | 0.776 | 0.772 | 0.774 | 8.850 | 1.150 |
| 5 | 0.804 | 0.802 | 0.806 | 0.804 | 9.214 | 0.786 |
| 6 | 0.814 | 0.811 | 0.813 | 0.813 | 9.323 | 0.677 |
| 7 | 0.828 | 0.830 | 0.829 | 0.829 | 9.517 | 0.483 |
| 8 | 0.834 | 0.836 | 0.834 | 0.835 | 9.590 | 0.410 |
| 9 | 0.836 | 0.836 | 0.838 | 0.837 | 9.614 | 0.386 |
| 10 | 0.840 | 0.838 | 0.836 | 0.838 | 9.626 | 0.374 |

absorbansi MO-NZA pada T =60°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|-----------|----------------|-------|-------|---------------|------------------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata- rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.590 | 0.591 | 0.589 | 0.590 | 6.619 | 3.381 |
| 2 | 0.669 | 0.670 | 0.672 | 0.670 | 7.589 | 2.411 |
| 3 | 0.720 | 0.718 | 0.721 | 0.720 | 8.195 | 1.805 |
| 4 | 0.760 | 0.758 | 0.758 | 0.759 | 8.668 | 1.332 |
| 5 | 0.780 | 0.784 | 0.782 | 0.782 | 8.947 | 1.053 |
| 6 | 0.802 | 0.804 | 0.802 | 0.803 | 9.202 | 0.798 |
| 7 | 0.820 | 0.818 | 0.817 | 0.818 | 9.383 | 0.617 |
| 8 | 0.822 | 0.822 | 0.824 | 0.823 | 9.444 | 0.556 |
| 9 | 0.832 | 0.834 | 0.830 | 0.832 | 9.553 | 0.447 |
| 10 | 0.836 | 0.834 | 0.837 | 0.836 | 9.602 | 0.398 |

absorbansi MO-NZA pada T =70°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.616 | 0.618 | 0.619 | 0.618 | 6.958 | 3.042 |
| 2 | 0.722 | 0.726 | 0.723 | 0.724 | 8.244 | 1.756 |
| 3 | 0.776 | 0.777 | 0.774 | 0.776 | 8.874 | 1.126 |
| 4 | 0.816 | 0.818 | 0.815 | 0.816 | 9.360 | 0.640 |
| 5 | 0.828 | 0.831 | 0.830 | 0.830 | 9.529 | 0.471 |
| 6 | 0.834 | 0.836 | 0.834 | 0.835 | 9.590 | 0.410 |
| 7 | 0.833 | 0.834 | 0.832 | 0.833 | 9.565 | 0.435 |
| 8 | 0.841 | 0.840 | 0.838 | 0.840 | 9.650 | 0.350 |
| 9 | 0.838 | 0.839 | 0.840 | 0.839 | 9.638 | 0.362 |
| 10 | 0.840 | 0.841 | 0.840 | 0.840 | 9.650 | 0.350 |

absorbansi MO-NZA pada $T = 80^{\circ}\text{C}$

tabel konsentrasi MO yang terserap oleh NZA

| 5ml ke | ppm terserap | | | | | | |
|--------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 27°C | 30°C | 40°C | 50°C | 60°C | 70°C | 80°C |
| 1 | 4.472 | 4.982 | 4.266 | 4.29 | 3.49 | 3.381 | 3.042 |
| 2 | 3.563 | 3.017 | 3.163 | 2.884 | 2.593 | 2.411 | 1.756 |
| 3 | 2.253 | 2.29 | 2.193 | 2.047 | 1.756 | 1.805 | 1.126 |
| 4 | 1.841 | 1.659 | 1.49 | 1.368 | 1.15 | 1.332 | 0.64 |
| 5 | 1.417 | 1.344 | 1.199 | 0.835 | 0.786 | 1.053 | 0.471 |
| 6 | 1.029 | 1.174 | 1.126 | 0.58 | 0.677 | 0.798 | 0.41 |
| 7 | 0.932 | 1.005 | 0.823 | 0.483 | 0.483 | 0.617 | 0.435 |
| 8 | 0.811 | 0.835 | 0.641 | 0.398 | 0.41 | 0.556 | 0.35 |
| 9 | 0.447 | 0.798 | 0.447 | 0.398 | 0.386 | 0.447 | 0.362 |
| 10 | 0.41 | 0.75 | 0.435 | 0.41 | 0.374 | 0.398 | 0.35 |

B. Data Serapan MO-H₅-NZA

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.500 | 0.499 | 0.501 | 0.500 | 5.528 | 4.472 |
| 2 | 0.579 | 0.577 | 0.576 | 0.577 | 6.461 | 3.539 |
| 3 | 0.648 | 0.647 | 0.649 | 0.648 | 7.322 | 2.678 |
| 4 | 0.720 | 0.718 | 0.722 | 0.720 | 8.195 | 1.805 |
| 5 | 0.798 | 0.800 | 0.796 | 0.798 | 9.141 | 0.859 |
| 6 | 0.802 | 0.804 | 0.802 | 0.803 | 9.201 | 0.799 |
| 7 | 0.810 | 0.806 | 0.808 | 0.808 | 9.262 | 0.738 |
| 8 | 0.812 | 0.814 | 0.812 | 0.813 | 9.323 | 0.677 |
| 9 | 0.822 | 0.820 | 0.820 | 0.821 | 9.420 | 0.580 |
| 10 | 0.832 | 0.828 | 0.830 | 0.830 | 9.529 | 0.471 |

adsorpsi MO-H₅NZA pada T kamar=27°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.468 | 0.467 | 0.468 | 0.468 | 5.140 | 4.860 |
| 2 | 0.565 | 0.567 | 0.566 | 0.566 | 6.328 | 3.672 |
| 3 | 0.692 | 0.692 | 0.690 | 0.691 | 7.844 | 2.156 |
| 4 | 0.728 | 0.726 | 0.730 | 0.728 | 8.292 | 1.708 |
| 5 | 0.754 | 0.756 | 0.752 | 0.754 | 8.607 | 1.393 |
| 6 | 0.774 | 0.776 | 0.772 | 0.774 | 8.850 | 1.150 |
| 7 | 0.786 | 0.784 | 0.782 | 0.784 | 8.971 | 1.029 |
| 8 | 0.820 | 0.822 | 0.824 | 0.822 | 9.432 | 0.568 |
| 9 | 0.824 | 0.822 | 0.826 | 0.824 | 9.456 | 0.544 |
| 10 | 0.826 | 0.828 | 0.830 | 0.828 | 9.505 | 0.495 |

adsorpsi MO-H₅NZA pada T =30°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.556 | 0.555 | 0.557 | 0.556 | 6.207 | 3.793 |
| 2 | 0.608 | 0.609 | 0.610 | 0.609 | 6.849 | 3.151 |
| 3 | 0.666 | 0.667 | 0.668 | 0.667 | 7.552 | 2.448 |
| 4 | 0.706 | 0.708 | 0.706 | 0.707 | 8.037 | 1.963 |
| 5 | 0.742 | 0.746 | 0.744 | 0.744 | 8.486 | 1.514 |
| 6 | 0.772 | 0.770 | 0.772 | 0.771 | 8.813 | 1.187 |
| 7 | 0.792 | 0.790 | 0.792 | 0.791 | 9.056 | 0.944 |
| 8 | 0.828 | 0.826 | 0.824 | 0.826 | 9.480 | 0.520 |
| 9 | 0.824 | 0.826 | 0.826 | 0.825 | 9.468 | 0.532 |
| 10 | 0.824 | 0.826 | 0.826 | 0.825 | 9.468 | 0.532 |

adsorpsi MO-H₅NZA pada T =40°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.501 | 0.500 | 0.502 | 0.501 | 5.540 | 4.460 |
| 2 | 0.623 | 0.624 | 0.625 | 0.624 | 7.031 | 2.969 |
| 3 | 0.716 | 0.718 | 0.716 | 0.717 | 8.159 | 1.841 |
| 4 | 0.761 | 0.766 | 0.766 | 0.764 | 8.729 | 1.271 |
| 5 | 0.794 | 0.792 | 0.794 | 0.793 | 9.080 | 0.920 |
| 6 | 0.808 | 0.806 | 0.804 | 0.806 | 9.238 | 0.762 |
| 7 | 0.814 | 0.812 | 0.814 | 0.813 | 9.323 | 0.677 |
| 8 | 0.832 | 0.834 | 0.836 | 0.834 | 9.577 | 0.423 |
| 9 | 0.842 | 0.842 | 0.840 | 0.841 | 9.662 | 0.338 |
| 10 | 0.848 | 0.848 | 0.850 | 0.849 | 9.759 | 0.241 |

adsorpsi MO-H₅NZA pada T =50°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.530 | 0.531 | 0.529 | 0.530 | 5.891 | 4.109 |
| 2 | 0.668 | 0.669 | 0.667 | 0.668 | 7.565 | 2.435 |
| 3 | 0.748 | 0.750 | 0.748 | 0.749 | 8.547 | 1.453 |
| 4 | 0.792 | 0.790 | 0.794 | 0.792 | 9.068 | 0.932 |
| 5 | 0.826 | 0.828 | 0.826 | 0.827 | 9.492 | 0.508 |
| 6 | 0.854 | 0.852 | 0.850 | 0.852 | 9.796 | 0.204 |
| 7 | 0.856 | 0.858 | 0.858 | 0.857 | 9.856 | 0.144 |
| 8 | 0.862 | 0.860 | 0.864 | 0.862 | 9.917 | 0.083 |
| 9 | 0.864 | 0.862 | 0.864 | 0.863 | 9.929 | 0.071 |
| 10 | 0.864 | 0.864 | 0.862 | 0.863 | 9.929 | 0.071 |

adsorbpsi MO-H₅NZA pada T =60°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.533 | 0.532 | 0.534 | 0.533 | 5.928 | 4.072 |
| 2 | 0.687 | 0.688 | 0.686 | 0.687 | 7.795 | 2.205 |
| 3 | 0.732 | 0.734 | 0.734 | 0.733 | 8.353 | 1.647 |
| 4 | 0.776 | 0.778 | 0.778 | 0.777 | 8.886 | 1.114 |
| 5 | 0.790 | 0.792 | 0.788 | 0.790 | 9.044 | 0.956 |
| 6 | 0.812 | 0.814 | 0.812 | 0.813 | 9.323 | 0.677 |
| 7 | 0.828 | 0.826 | 0.828 | 0.827 | 9.492 | 0.508 |
| 8 | 0.832 | 0.834 | 0.834 | 0.833 | 9.565 | 0.435 |
| 9 | 0.842 | 0.848 | 0.846 | 0.845 | 9.711 | 0.289 |
| 10 | 0.848 | 0.850 | 0.852 | 0.850 | 9.771 | 0.229 |

adsorbpsi MO-H₅NZA pada T =70°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|------------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $y = 12.125x - 0.5349$ | 10-y |
| 1 | 0.555 | 0.556 | 0.556 | 0.556 | 6.207 | 3.793 |
| 2 | 0.691 | 0.692 | 0.691 | 0.691 | 7.843 | 2.157 |
| 3 | 0.774 | 0.776 | 0.776 | 0.775 | 8.862 | 1.138 |
| 4 | 0.818 | 0.818 | 0.820 | 0.819 | 9.395 | 0.605 |
| 5 | 0.846 | 0.848 | 0.846 | 0.847 | 9.735 | 0.265 |
| 6 | 0.848 | 0.848 | 0.850 | 0.849 | 9.759 | 0.241 |
| 7 | 0.852 | 0.852 | 0.852 | 0.852 | 9.796 | 0.204 |
| 8 | 0.854 | 0.852 | 0.856 | 0.854 | 9.820 | 0.180 |
| 9 | 0.858 | 0.856 | 0.860 | 0.858 | 9.868 | 0.132 |
| 10 | 0.860 | 0.862 | 0.864 | 0.862 | 9.917 | 0.083 |

adsorpsi MO-H₅NZA pada T = 80°C

tabel konsentrasi MO yang terserap oleh H₅-NZA

| 5ml ke | ppm terserap | | | | | | |
|--------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 27°C | 30°C | 40°C | 50°C | 60°C | 70°C | 80°C |
| 1 | 4.472 | 4.86 | 3.793 | 4.46 | 4.109 | 4.072 | 3.793 |
| 2 | 3.539 | 3.672 | 3.151 | 2.969 | 2.435 | 2.205 | 2.157 |
| 3 | 2.678 | 2.156 | 2.448 | 1.841 | 1.453 | 1.647 | 1.138 |
| 4 | 1.805 | 1.708 | 1.963 | 1.271 | 0.932 | 1.114 | 0.605 |
| 5 | 0.859 | 1.393 | 1.514 | 0.92 | 0.508 | 0.956 | 0.265 |
| 6 | 0.799 | 1.15 | 1.187 | 0.762 | 0.204 | 0.677 | 0.241 |
| 7 | 0.738 | 1.029 | 0.944 | 0.677 | 0.144 | 0.508 | 0.204 |
| 8 | 0.677 | 0.568 | 0.52 | 0.423 | 0.083 | 0.435 | 0.18 |
| 9 | 0.58 | 0.544 | 0.532 | 0.338 | 0.071 | 0.289 | 0.132 |
| 10 | 0.471 | 0.495 | 0.532 | 0.241 | 0.071 | 0.229 | 0.083 |

C. Data Serapan MR oleh NZA

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.046 | 0.045 | 0.047 | 0.046 | 0.514 | 9.486 |
| 2 | 0.047 | 0.048 | 0.049 | 0.048 | 0.534 | 9.466 |
| 3 | 0.082 | 0.083 | 0.084 | 0.083 | 0.876 | 9.124 |
| 4 | 0.118 | 0.120 | 0.119 | 0.119 | 1.229 | 8.771 |
| 5 | 0.144 | 0.145 | 0.146 | 0.145 | 1.484 | 8.516 |
| 6 | 0.154 | 0.155 | 0.156 | 0.155 | 1.582 | 8.418 |
| 7 | 0.162 | 0.161 | 0.163 | 0.162 | 1.650 | 8.350 |
| 8 | 0.189 | 0.190 | 0.191 | 0.190 | 1.924 | 8.076 |
| 9 | 0.190 | 0.191 | 0.192 | 0.191 | 1.934 | 8.066 |
| 10 | 0.234 | 0.235 | 0.234 | 0.234 | 2.355 | 7.645 |

serapan MR oleh NZA pada T kamar = 27°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.071 | 0.072 | 0.070 | 0.071 | 0.759 | 9.241 |
| 2 | 0.074 | 0.074 | 0.073 | 0.074 | 0.788 | 9.212 |
| 3 | 0.081 | 0.082 | 0.081 | 0.081 | 0.857 | 9.143 |
| 4 | 0.104 | 0.105 | 0.106 | 0.105 | 1.092 | 8.908 |
| 5 | 0.150 | 0.149 | 0.150 | 0.150 | 1.533 | 8.467 |
| 6 | 0.164 | 0.163 | 0.162 | 0.163 | 1.660 | 8.340 |
| 7 | 0.178 | 0.179 | 0.180 | 0.179 | 1.817 | 8.183 |
| 8 | 0.190 | 0.188 | 0.189 | 0.189 | 1.915 | 8.085 |
| 9 | 0.200 | 0.197 | 0.198 | 0.198 | 2.003 | 7.998 |
| 10 | 0.233 | 0.232 | 0.233 | 0.233 | 2.346 | 7.654 |

serapan MR oleh NZA pada T = 30°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.080 | 0.079 | 0.080 | 0.080 | 0.847 | 9.153 |
| 2 | 0.091 | 0.090 | 0.089 | 0.090 | 0.945 | 9.055 |
| 3 | 0.107 | 0.108 | 0.109 | 0.108 | 1.121 | 8.879 |
| 4 | 0.189 | 0.188 | 0.187 | 0.188 | 1.905 | 8.095 |
| 5 | 0.220 | 0.219 | 0.220 | 0.220 | 2.218 | 7.782 |
| 6 | 0.254 | 0.253 | 0.255 | 0.254 | 2.551 | 7.449 |
| 7 | 0.279 | 0.280 | 0.279 | 0.279 | 2.796 | 7.204 |
| 8 | 0.284 | 0.285 | 0.286 | 0.285 | 2.855 | 7.145 |
| 9 | 0.324 | 0.323 | 0.323 | 0.323 | 3.227 | 6.773 |
| 10 | 0.338 | 0.338 | 0.339 | 0.338 | 3.374 | 6.626 |

serapan MR oleh NZA pada $T = 40^{\circ}\text{C}$

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.085 | 0.086 | 0.085 | 0.085 | 0.896 | 9.104 |
| 2 | 0.108 | 0.109 | 0.108 | 0.108 | 1.121 | 8.879 |
| 3 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 1.738 | 8.262 |
| 4 | 0.254 | 0.252 | 0.253 | 0.253 | 2.542 | 7.458 |
| 5 | 0.265 | 0.267 | 0.266 | 0.266 | 2.669 | 7.331 |
| 6 | 0.327 | 0.327 | 0.328 | 0.327 | 3.266 | 6.734 |
| 7 | 0.388 | 0.389 | 0.388 | 0.388 | 3.864 | 6.136 |
| 8 | 0.435 | 0.434 | 0.433 | 0.434 | 4.314 | 5.686 |
| 9 | 0.482 | 0.483 | 0.481 | 0.482 | 4.785 | 5.215 |
| 10 | 0.533 | 0.531 | 0.530 | 0.531 | 5.264 | 4.736 |

serapan MR oleh NZA pada $T = 50^{\circ}\text{C}$

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.091 | 0.092 | 0.093 | 0.092 | 0.965 | 9.035 |
| 2 | 0.115 | 0.115 | 0.116 | 0.115 | 1.190 | 8.810 |
| 3 | 0.190 | 0.191 | 0.192 | 0.191 | 1.934 | 8.066 |
| 4 | 0.266 | 0.267 | 0.266 | 0.266 | 2.669 | 7.331 |
| 5 | 0.271 | 0.272 | 0.273 | 0.272 | 2.728 | 7.272 |
| 6 | 0.365 | 0.364 | 0.365 | 0.365 | 3.639 | 6.361 |
| 7 | 0.444 | 0.445 | 0.446 | 0.445 | 4.422 | 5.578 |
| 8 | 0.487 | 0.488 | 0.491 | 0.489 | 4.853 | 5.147 |
| 9 | 0.528 | 0.529 | 0.527 | 0.528 | 5.235 | 4.765 |
| 10 | 0.587 | 0.588 | 0.587 | 0.587 | 5.813 | 4.187 |

serapan MR oleh NZA pada T = 60°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.110 | 0.111 | 0.111 | 0.111 | 1.151 | 8.849 |
| 2 | 0.152 | 0.151 | 0.150 | 0.151 | 1.542 | 8.458 |
| 3 | 0.167 | 0.166 | 0.167 | 0.167 | 1.699 | 8.301 |
| 4 | 0.302 | 0.303 | 0.305 | 0.303 | 3.031 | 6.969 |
| 5 | 0.343 | 0.344 | 0.345 | 0.344 | 3.433 | 6.567 |
| 6 | 0.447 | 0.448 | 0.449 | 0.448 | 4.452 | 5.548 |
| 7 | 0.498 | 0.499 | 0.498 | 0.498 | 4.941 | 5.059 |
| 8 | 0.520 | 0.519 | 0.518 | 0.519 | 5.147 | 4.853 |
| 9 | 0.604 | 0.605 | 0.606 | 0.605 | 5.926 | 4.074 |
| 10 | 0.645 | 0.644 | 0.647 | 0.645 | 6.381 | 3.619 |

serapan MR oleh NZA pada T = 70°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.166 | 0.167 | 0.166 | 0.166 | 1.689 | 8.311 |
| 2 | 0.185 | 0.184 | 0.185 | 0.185 | 1.876 | 8.124 |
| 3 | 0.266 | 0.265 | 0.267 | 0.266 | 2.669 | 7.331 |
| 4 | 0.326 | 0.327 | 0.326 | 0.326 | 3.257 | 6.743 |
| 5 | 0.410 | 0.409 | 0.411 | 0.410 | 4.079 | 5.921 |
| 6 | 0.484 | 0.485 | 0.486 | 0.485 | 4.814 | 5.186 |
| 7 | 0.535 | 0.534 | 0.532 | 0.534 | 5.294 | 4.706 |
| 8 | 0.584 | 0.585 | 0.586 | 0.585 | 5.793 | 4.207 |
| 9 | 0.618 | 0.617 | 0.619 | 0.618 | 6.117 | 3.883 |
| 10 | 0.652 | 0.650 | 0.651 | 0.651 | 6.440 | 3.560 |

serapan MR oleh NZA pada $T = 80^{\circ}\text{C}$

konsentrasi MR yang terserap oleh NZA

| 5ml ke | ppm yang terserap | | | | | | |
|--------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 27°C | 30°C | 40°C | 50°C | 60°C | 70°C | 80°C |
| 1 | 9.486 | 9.241 | 9.153 | 9.104 | 9.035 | 8.849 | 8.311 |
| 2 | 9.466 | 9.212 | 9.055 | 8.879 | 8.81 | 8.458 | 8.124 |
| 3 | 9.124 | 9.143 | 8.879 | 8.262 | 8.066 | 8.301 | 7.331 |
| 4 | 8.771 | 8.908 | 8.095 | 7.458 | 7.331 | 6.969 | 6.743 |
| 5 | 8.516 | 8.467 | 7.782 | 7.331 | 7.272 | 6.567 | 5.921 |
| 6 | 8.418 | 8.34 | 7.449 | 6.734 | 6.361 | 5.548 | 5.186 |
| 7 | 8.35 | 8.183 | 7.204 | 6.136 | 5.578 | 5.059 | 4.706 |
| 8 | 8.076 | 8.085 | 7.145 | 5.686 | 5.147 | 4.853 | 4.207 |
| 9 | 8.066 | 7.998 | 6.773 | 5.215 | 4.765 | 4.074 | 3.883 |
| 10 | 7.645 | 7.654 | 6.626 | 4.736 | 4.187 | 3.619 | 3.56 |

D. Data Serapan MR oleh H₅-NZA

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.096 | 0.097 | 0.097 | 0.097 | 1.014 | 8.986 |
| 2 | 0.127 | 0.126 | 0.128 | 0.127 | 1.307 | 8.693 |
| 3 | 0.181 | 0.180 | 0.179 | 0.180 | 1.827 | 8.173 |
| 4 | 0.224 | 0.223 | 0.225 | 0.224 | 2.258 | 7.742 |
| 5 | 0.245 | 0.245 | 0.245 | 0.245 | 2.463 | 7.537 |
| 6 | 0.283 | 0.284 | 0.284 | 0.284 | 2.845 | 7.155 |
| 7 | 0.290 | 0.291 | 0.289 | 0.290 | 2.904 | 7.096 |
| 8 | 0.305 | 0.305 | 0.305 | 0.305 | 3.051 | 6.949 |
| 9 | 0.325 | 0.326 | 0.327 | 0.326 | 3.257 | 6.743 |
| 10 | 0.368 | 0.367 | 0.369 | 0.368 | 3.668 | 6.332 |

serapan MR oleh H₅NZA pada T = 27°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.109 | 0.111 | 0.110 | 0.110 | 1.141 | 8.859 |
| 2 | 0.162 | 0.163 | 0.164 | 0.163 | 1.660 | 8.340 |
| 3 | 0.208 | 0.207 | 0.207 | 0.207 | 2.091 | 7.909 |
| 4 | 0.226 | 0.227 | 0.226 | 0.226 | 2.277 | 7.723 |
| 5 | 0.251 | 0.252 | 0.251 | 0.251 | 2.522 | 7.478 |
| 6 | 0.290 | 0.289 | 0.288 | 0.289 | 2.894 | 7.106 |
| 7 | 0.311 | 0.310 | 0.309 | 0.310 | 3.100 | 6.900 |
| 8 | 0.321 | 0.320 | 0.319 | 0.320 | 3.198 | 6.802 |
| 9 | 0.335 | 0.334 | 0.336 | 0.335 | 3.345 | 6.655 |
| 10 | 0.384 | 0.385 | 0.386 | 0.385 | 3.834 | 6.166 |

serapan MR oleh H₅NZA pada T = 30°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.117 | 0.117 | 0.118 | 0.117 | 1.209 | 8.791 |
| 2 | 0.128 | 0.129 | 0.127 | 0.128 | 1.317 | 8.683 |
| 3 | 0.163 | 0.163 | 0.164 | 0.163 | 1.660 | 8.340 |
| 4 | 0.185 | 0.184 | 0.185 | 0.185 | 1.876 | 8.124 |
| 5 | 0.205 | 0.206 | 0.207 | 0.206 | 2.081 | 7.919 |
| 6 | 0.234 | 0.233 | 0.233 | 0.233 | 2.346 | 7.654 |
| 7 | 0.240 | 0.241 | 0.239 | 0.24 | 2.414 | 7.586 |
| 8 | 0.268 | 0.268 | 0.267 | 0.268 | 2.688 | 7.312 |
| 9 | 0.300 | 0.301 | 0.300 | 0.300 | 3.002 | 6.998 |
| 10 | 0.315 | 0.316 | 0.315 | 0.315 | 3.149 | 6.851 |

serapan MR oleh H_5NZA pada $T = 40^\circ C$

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | 10-y |
| 1 | 0.131 | 0.130 | 0.129 | 0.130 | 1.337 | 8.663 |
| 2 | 0.182 | 0.181 | 0.183 | 0.182 | 1.846 | 8.154 |
| 3 | 0.237 | 0.236 | 0.238 | 0.237 | 2.385 | 7.615 |
| 4 | 0.312 | 0.311 | 0.313 | 0.312 | 3.119 | 6.881 |
| 5 | 0.319 | 0.317 | 0.318 | 0.318 | 3.178 | 6.822 |
| 6 | 0.359 | 0.360 | 0.361 | 0.360 | 3.590 | 6.410 |
| 7 | 0.454 | 0.455 | 0.456 | 0.455 | 4.520 | 5.480 |
| 8 | 0.485 | 0.484 | 0.482 | 0.484 | 4.804 | 5.196 |
| 9 | 0.514 | 0.515 | 0.514 | 0.514 | 5.098 | 4.902 |
| 10 | 0.540 | 0.541 | 0.542 | 0.541 | 5.362 | 4.638 |

serapan MR oleh H_5NZA pada $T = 50^\circ C$

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) $Y=9.7947X+0.0635$ | ppm terserap 10-y |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|-------------------------------|----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | | |
| 1 | 0.143 | 0.144 | 0.145 | 0.144 | 1.474 | 8.526 |
| 2 | 0.197 | 0.196 | 0.195 | 0.196 | 1.983 | 8.017 |
| 3 | 0.283 | 0.282 | 0.284 | 0.283 | 2.835 | 7.165 |
| 4 | 0.323 | 0.324 | 0.326 | 0.324 | 3.237 | 6.763 |
| 5 | 0.390 | 0.391 | 0.392 | 0.391 | 3.893 | 6.107 |
| 6 | 0.423 | 0.424 | 0.425 | 0.424 | 4.216 | 5.784 |
| 7 | 0.530 | 0.531 | 0.530 | 0.530 | 5.255 | 4.745 |
| 8 | 0.561 | 0.562 | 0.561 | 0.561 | 5.558 | 4.442 |
| 9 | 0.613 | 0.611 | 0.612 | 0.612 | 6.058 | 3.942 |
| 10 | 0.651 | 0.650 | 0.652 | 0.651 | 6.440 | 3.560 |

serapan MR oleh H₅NZA pada T = 60°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) $Y=9.7947X+0.0635$ | ppm terserap 10-y |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|-------------------------------|----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | | |
| 1 | 0.162 | 0.162 | 0.162 | 0.162 | 1.650 | 8.350 |
| 2 | 0.169 | 0.169 | 0.170 | 0.169 | 1.719 | 8.281 |
| 3 | 0.186 | 0.185 | 0.184 | 0.185 | 1.876 | 8.124 |
| 4 | 0.220 | 0.221 | 0.220 | 0.220 | 2.218 | 7.782 |
| 5 | 0.237 | 0.237 | 0.238 | 0.237 | 2.385 | 7.615 |
| 6 | 0.240 | 0.238 | 0.239 | 0.239 | 2.404 | 7.596 |
| 7 | 0.342 | 0.340 | 0.339 | 0.340 | 3.394 | 6.606 |
| 8 | 0.355 | 0.356 | 0.355 | 0.355 | 3.541 | 6.459 |
| 9 | 0.386 | 0.385 | 0.387 | 0.386 | 3.844 | 6.156 |
| 10 | 0.402 | 0.401 | 0.402 | 0.402 | 4.001 | 5.999 |

serapan MR oleh H₅NZA pada T = 70°C

| 5ml ke | Absorbansi (x) | | | | ppm (y) | ppm terserap |
|--------|----------------|-------|-------|-----------|--------------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata | $Y=9.7947X+0.0635$ | $10-y$ |
| 1 | 0.180 | 0.181 | 0.180 | 0.180 | 1.827 | 8.173 |
| 2 | 0.223 | 0.224 | 0.223 | 0.223 | 2.248 | 7.752 |
| 3 | 0.246 | 0.246 | 0.246 | 0.246 | 2.473 | 7.527 |
| 4 | 0.277 | 0.275 | 0.276 | 0.276 | 2.767 | 7.233 |
| 5 | 0.293 | 0.294 | 0.295 | 0.294 | 2.943 | 7.057 |
| 6 | 0.307 | 0.308 | 0.309 | 0.308 | 3.080 | 6.920 |
| 7 | 0.348 | 0.347 | 0.347 | 0.347 | 3.462 | 6.538 |
| 8 | 0.384 | 0.385 | 0.386 | 0.385 | 3.834 | 6.166 |
| 9 | 0.414 | 0.415 | 0.414 | 0.414 | 4.119 | 5.881 |
| 10 | 0.428 | 0.429 | 0.430 | 0.429 | 4.265 | 5.736 |

serapan MR oleh H₅NZA pada T = 80°C

konsentrasi MR yang terserap oleh H₅-NZA

| 5ml ke | ppm yang terserap | | | | | | |
|--------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 27°C | 30°C | 40°C | 50°C | 60°C | 70°C | 80°C |
| 1 | 8.986 | 8.859 | 8.791 | 8.663 | 8.526 | 8.35 | 8.173 |
| 2 | 8.693 | 8.34 | 8.683 | 8.154 | 8.017 | 8.281 | 7.752 |
| 3 | 8.173 | 7.909 | 8.34 | 7.615 | 7.165 | 8.124 | 7.527 |
| 4 | 7.742 | 7.723 | 8.124 | 6.881 | 6.763 | 7.782 | 7.233 |
| 5 | 7.537 | 7.478 | 7.919 | 6.822 | 6.107 | 7.615 | 7.057 |
| 6 | 7.155 | 7.106 | 7.654 | 6.41 | 5.784 | 7.596 | 6.92 |
| 7 | 7.096 | 6.9 | 7.586 | 5.48 | 4.745 | 6.606 | 6.538 |
| 8 | 6.949 | 6.802 | 7.312 | 5.196 | 4.442 | 6.459 | 6.166 |
| 9 | 6.743 | 6.655 | 6.998 | 4.902 | 3.942 | 6.156 | 5.881 |
| 10 | 6.332 | 6.166 | 6.851 | 4.638 | 3.56 | 5.999 | 5.736 |

Lampiran 4

Tabel

Perbandingan Persamaan Garis, Nilai a dan k serta koefisien korelasi (R^2) dari persamaan Langmuir dan Freundlich Isoterm

| T | MO-NZA Langmuir isoterm | | | T | MO-NZA Freundlich isoterm | | |
|----|-------------------------|--------|----------|----|---------------------------|--------|----------|
| | Persamaan Garis | R^2 | a | | Persamaan Garis | R^2 | k |
| 27 | $y = -402.3x + 162.43$ | 0.5871 | -0.00249 | 27 | $y = -3.6199x + 2.4038$ | 0.8197 | 0.003946 |
| 30 | $y = -291.61x + 120.27$ | 0.7881 | -0.00343 | 30 | $y = -3.5111x + 2.3644$ | 0.9019 | 0.004321 |
| 40 | $y = -476.05x + 172.24$ | 0.6542 | -0.0021 | 40 | $y = -4.338x + 3.0709$ | 0.8583 | 0.000849 |
| 50 | $y = -603.11x + 215.14$ | 0.7274 | -0.00166 | 50 | $y = -4.8279x + 3.4654$ | 0.8711 | 0.000342 |
| 60 | $y = -740.19x + 225.94$ | 0.733 | -0.00135 | 60 | $y = -5.8375x + 4.4358$ | 0.895 | 0.000037 |
| 70 | $y = -673.45x + 200.06$ | 0.7249 | -0.00148 | 70 | $y = -5.7079x + 4.3531$ | 0.8906 | 0.000044 |
| 80 | $y = -962.07x + 262.89$ | 0.7646 | -0.00104 | 80 | $y = -6.8761x + 5.3979$ | 0.9046 | 0.000004 |

| T | MO-H ₅ NZA Langmuir isoterm | | | T | MO-H ₅ NZA Freundlich isoterm | | |
|----|--|--------|----------|----|--|--------|----------|
| | Persamaan Garis | R^2 | a | | Persamaan Garis | R^2 | k |
| 27 | $y = -410.22x + 163.46$ | 0.7864 | -0.00244 | 27 | $y = -4.099x + 2.8342$ | 0.9123 | 0.001465 |
| 30 | $y = -372.12x + 152.46$ | 0.6516 | -0.00269 | 30 | $y = -3.6038x + 2.3972$ | 0.845 | 0.004007 |
| 40 | $y = -509.53x + 171.94$ | 0.7588 | -0.00196 | 40 | $y = -4.8229x + 3.5391$ | 0.8952 | 0.000289 |
| 50 | $y = -672.98x + 235.95$ | 0.5192 | -0.00149 | 50 | $y = -4.6974x + 3.3353$ | 0.8054 | 0.000462 |
| 60 | $y = -2886.6x + 843.42$ | 0.4456 | -0.00035 | 60 | $y = -7.7237x + 5.923$ | 0.7307 | 0.000001 |
| 70 | $y = -823.8x + 258.16$ | 0.5158 | -0.00121 | 70 | $y = -5.326x + 3.9239$ | 0.7901 | 0.000119 |
| 80 | $y = -1994.7x + 578.13$ | 0.4286 | -0.0005 | 80 | $y = -7.4494x + 5.7371$ | 0.7888 | 0.000002 |

| T | MR-NZA Langmuir isoterm | | | T | MR-NZA Freundlich isoterm | | |
|----|-------------------------|--------|----------|----|---------------------------|--------|--------|
| | Persamaan Garis | R^2 | a | | Persamaan Garis | R^2 | k |
| 27 | $y = -13.488x + 13.281$ | 0.9956 | -0.07414 | 27 | $y = -0.1297x - 0.0539$ | 0.9439 | 1.1321 |
| 30 | $y = -13.824x + 13.563$ | 0.9973 | -0.07234 | 30 | $y = -0.156x - 0.0489$ | 0.9744 | 1.1192 |
| 40 | $y = -16.151x + 15.583$ | 0.9926 | -0.06192 | 40 | $y = -0.2246x - 0.0441$ | 0.9597 | 1.1069 |
| 50 | $y = -22.249x + 20.514$ | 0.9662 | -0.04495 | 50 | $y = -0.3487x - 0.0206$ | 0.8977 | 1.049 |
| 60 | $y = -25.025x + 22.67$ | 0.9578 | -0.03996 | 60 | $y = -0.4043x - 0.0051$ | 0.8921 | 1.0118 |
| 70 | $y = -28.841x + 25.5$ | 0.9402 | -0.03467 | 70 | $y = -0.4883x + 0.0261$ | 0.901 | 0.9417 |
| 80 | $y = -32.057x + 27.369$ | 0.9523 | -0.03119 | 80 | $y = -0.608x + 0.0984$ | 0.9265 | 0.7973 |

| T | MR-H ₅ NZA Langmuir isoterm | | | T | MR-H ₅ NZA Freundlich isoterm | | |
|----|--|--------|----------|----|--|--------|--------|
| | Persamaan Garis | R^2 | a | | Persamaan Garis | R^2 | k |
| 27 | $y = 1.7217x - 0.821$ | 0.9894 | 0.580821 | 27 | $y = -0.263x - 0.0302$ | 0.9509 | 1.072 |
| 30 | $y = 1.8094x - 1.0403$ | 0.9879 | 0.552669 | 30 | $y = -0.2934x - 0.0184$ | 0.9464 | 1.0433 |
| 40 | $y = 1.6502x - 0.725$ | 0.9946 | 0.605987 | 40 | $y = -0.2565x - 0.0265$ | 0.9697 | 1.0629 |
| 50 | $y = 2.4818x - 2.6272$ | 0.9728 | 0.402933 | 50 | $y = -0.4548x + 0.0337$ | 0.9264 | 0.9253 |
| 60 | $y = 3.1828x - 4.6677$ | 0.9461 | 0.314189 | 60 | $y = -0.5817x + 0.0855$ | 0.9029 | 0.8213 |
| 70 | $y = 1.9802x - 1.4486$ | 0.9944 | 0.504999 | 70 | $y = -0.3717x + 0.0123$ | 0.9796 | 0.9721 |
| 80 | $y = 2.1549x - 2.002$ | 0.9899 | 0.464059 | 80 | $y = -0.4262x + 0.0395$ | 0.9691 | 0.9131 |

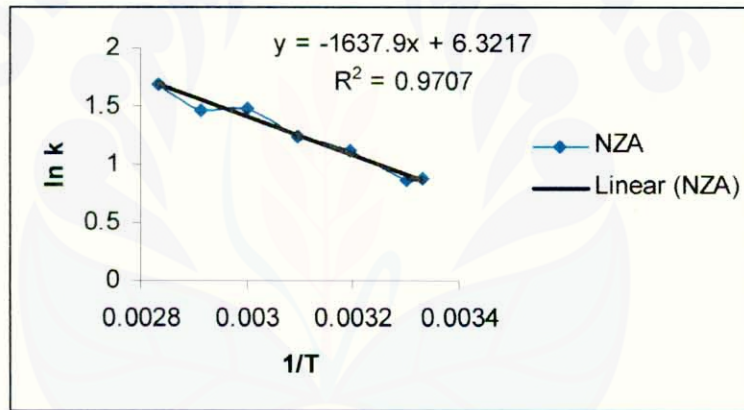
Lampiran 5

Data k_{ads} dari intersep persamaan garis Freundlich Isoterm

| 1/T (K) | MO | | | | MR | | | |
|------------|-----------|---------------|---------------------|---------------|-----------|---------------|---------------------|---------------|
| | NZA | | H ₅ -NZA | | NZA | | H ₅ -NZA | |
| | k_{ads} | $\ln k_{ads}$ | k_{ads} | $\ln k_{ads}$ | k_{ads} | $\ln k_{ads}$ | k_{ads} | $\ln k_{ads}$ |
| 0.003333 | 2.4038 | 0.877 | 2.8342 | 1.042 | -0.0539 | 2.921 | -0.0302 | 3.499 |
| 0.0033 | 2.3644 | 0.861 | 2.3972 | 0.874 | -0.0489 | 3.018 | -0.0184 | 3.995 |
| 0.003195 | 3.0709 | 1.122 | 3.5391 | 1.263 | -0.0441 | 3.121 | -0.0265 | 3.631 |
| 0.003096 | 3.4654 | 1.243 | 3.3353 | 1.205 | -0.0206 | 3.882 | 0.0337 | -3.39 |
| 0.003003 | 4.4358 | 1.49 | 5.923 | 1.779 | -0.0051 | 5.279 | 0.0855 | -2.459 |
| 0.002915 | 4.3531 | 1.471 | 3.9239 | 1.367 | 0.0261 | -3.646 | 0.0123 | -4.398 |
| 0.002833 | 5.3979 | 1.686 | 5.7371 | 1.747 | 0.0984 | -2.319 | 0.0395 | -3.231 |

Penentuan dan perhitungan entalpi adsorpsi (ΔH_{ads})

1. Adsorpsi MO oleh NZA



$$\ln k = \frac{-\Delta H_{ads}}{RT} + C \dots\dots\dots(1)$$

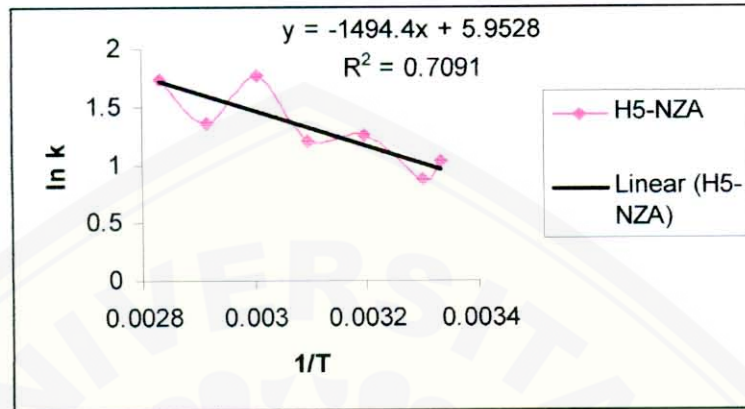
$$y = -1637.9x + 6.3217 \dots\dots\dots(2)$$

dari persamaan (1) dan (2) dapat ditentukan ΔH_{ads} :

$$\frac{-\Delta H_{ads}}{8.314J/molK} = -1637.9$$

$$\Delta H_{ads} = 13.617KJ/molK$$

2. Adsorpsi MO oleh H5-NZA



$$\ln k = \frac{-\Delta H_{ads}}{RT} + C \dots\dots\dots(1)$$

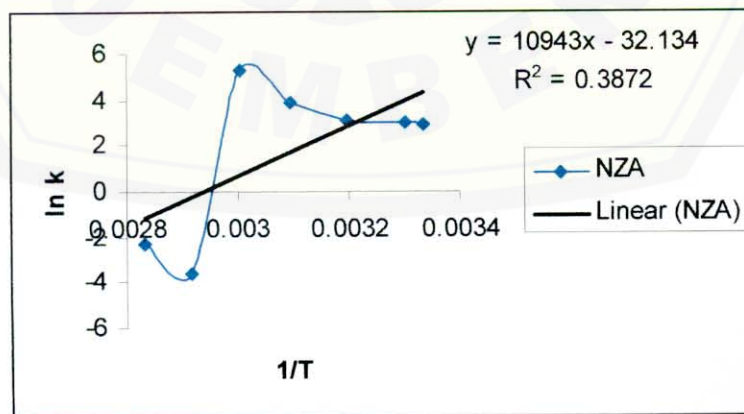
$$y = -1494.4x + 5.9528 \dots\dots\dots(2)$$

dari persamaan (1) dan (2) dapat ditentukan ΔH_{ads} :

$$\frac{-\Delta H_{ads}}{8.314J/molK} = -1494.4$$

$$\Delta H_{ads} = 12.424KJ/molK$$

3. Adsorpsi MR oleh NZA



$$\ln k = \frac{-\Delta H_{ads}}{RT} + C \dots\dots\dots(1)$$

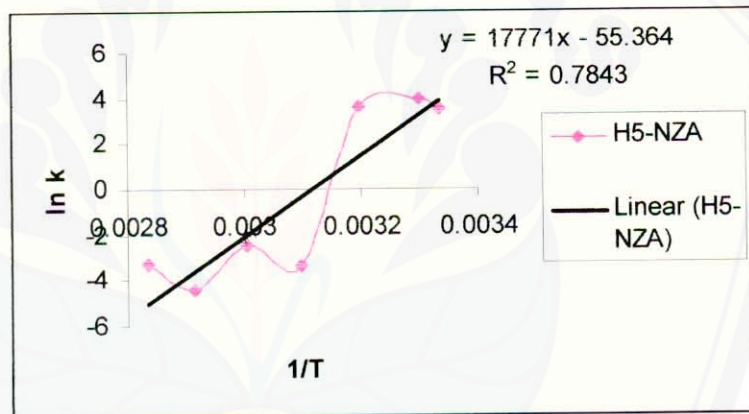
$$y = 10943x - 32.134 \dots\dots\dots(2)$$

dari persamaan (1) dan (2) dapat ditentukan ΔH_{ads} :

$$\frac{-\Delta H_{ads}}{8.314J/molK} = 10943$$

$$\Delta H_{ads} = 90.980KJ/molK$$

4. Adsorpsi MR oleh H₅-NZA



$$\ln k = \frac{-\Delta H_{ads}}{RT} + C \dots\dots\dots(1)$$

$$y = 17771x - 55.364 \dots\dots\dots(2)$$

dari persamaan (1) dan (2) dapat ditentukan ΔH_{ads} :

$$\frac{-\Delta H_{ads}}{8.314J/molK} = 17771$$

$$\Delta H_{ads} = 147.748KJ/molK$$

Lampiran 6

Data Panjang Gelombang untuk Serapan Maksimum

A. Methyl Red (10 ppm)

| λ | A |
|------------|--------------|
| 400 | 0.375 |
| 410 | 0.440 |
| 420 | 0.489 |
| 430 | 0.539 |
| 440 | 0.580 |
| 450 | 0.631 |
| 460 | 0.704 |
| 470 | 0.784 |
| 480 | 0.813 |
| 490 | 0.884 |
| 500 | 0.882 |
| 510 | 0.818 |
| 520 | 0.673 |
| 530 | 0.483 |
| 540 | 0.302 |
| 550 | 0.167 |
| 560 | 0.085 |
| 570 | 0.041 |
| 580 | 0.020 |
| 590 | 0.007 |
| 600 | 0.004 |
| 610 | 0.002 |
| 620 | 0.000 |
| 630 | 0.000 |
| 640 | -0.001 |
| 650 | -0.001 |
| 660 | -0.002 |
| 670 | -0.002 |
| 680 | -0.002 |
| 690 | -0.003 |
| 700 | -0.003 |

B. Methyl Orange (10 ppm)

| λ | A |
|------------|--------------|
| 400 | 0.467 |
| 410 | 0.497 |
| 420 | 0.565 |
| 430 | 0.633 |
| 440 | 0.718 |
| 450 | 0.822 |
| 460 | 0.868 |
| 470 | 0.834 |
| 480 | 0.794 |
| 490 | 0.530 |
| 500 | 0.276 |
| 510 | 0.147 |
| 520 | 0.115 |
| 530 | 0.084 |
| 540 | 0.036 |
| 550 | 0.011 |
| 560 | 0.006 |
| 570 | 0.004 |
| 580 | 0.003 |
| 590 | 0.002 |
| 600 | 0.001 |
| 610 | 0.000 |
| 620 | 0.000 |
| 630 | 0.000 |
| 640 | -0.001 |
| 650 | -0.001 |
| 660 | -0.002 |
| 670 | -0.002 |
| 680 | -0.002 |
| 690 | -0.003 |
| 700 | -0.003 |

