

**PREPARASI ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI
PENYANGGA BIOFILTER UNTUK PROSES
PEMISAHAN SENYAWA SULFUR**

SKRIPSI

Oleh

ARIYO P
0404060101



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**PREPARASI ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI
PENYANGGA BIOFILTER UNTUK PROSES
PEMISAHAN SENYAWA SULFUR**

SKRIPSI

Oleh

**ARIYO P
0404060101**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul,

PREPARASI ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI PENYANGGA BIOFILTER UNTUK PROSES PEMISAHAN SENYAWA SULFUR

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 27 Juni 2008

Ariyo PH
0404060101

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul,

PREPARASI ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI PENYANGGA BIOFILTER UNTUK PROSES PEMISAHAN SENYAWA SULFUR

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian skripsi.

Depok, 27 Juni 2008

Dosen Pembimbing I,

Ir. Praswasti PDK Wulan, MT
NIP 132 008 518

Dosen pembimbing II,

Ir. Eva Fathul Karamah, MT
NIP 132 161 170

UCAPAN TERIMA KASIH

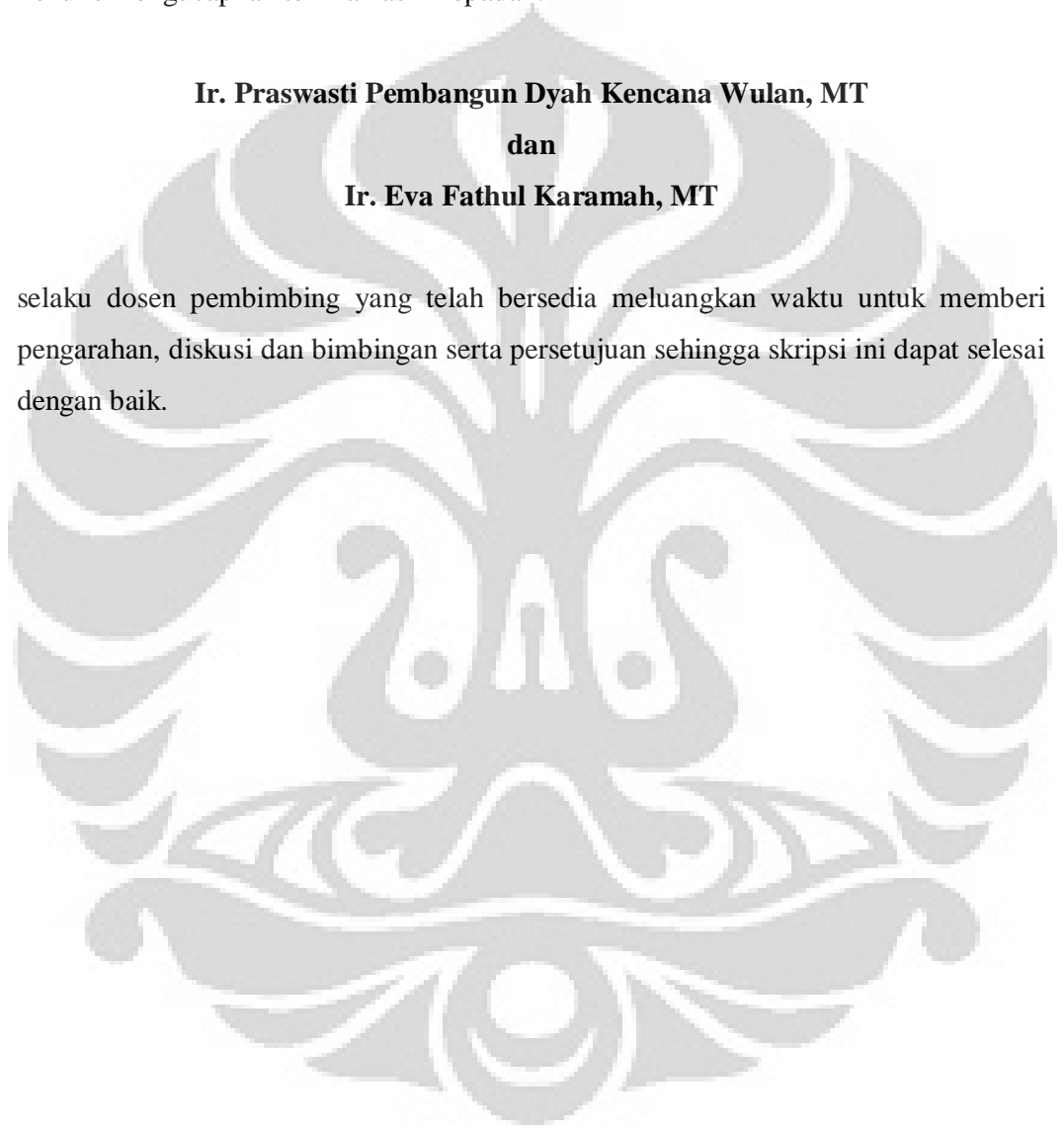
Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Ir. Praswasti Pembangun Dyah Kencana Wulan, MT

dan

Ir. Eva Fathul Karamah, MT

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Ariyo P NPM 0404060101 Departemen Teknik Kimia	Dosen Pembimbing: 1. Ir.Praswasti PDK Wulan, MT 2. Ir.Eva Fathul Karamah, MT
PREPARASI ZEOLIT ALAM LAMPUNG SEBAGAI PENYANGGA BIOFILTER UNTUK PROSES PEMISAHAN SENYAWA SULFUR	
<p>ABSTRAK</p> <p>Selain dapat menurunkan keekonomisan gas bumi, gas buang yang mengandung senyawa Sulfur juga memiliki potensi untuk menimbulkan pencemaran udara jika terlepas ke udara. Senyawa sulfur seperti pada Hidrogen Sulfida pada konsentrasi di atas ambang batas yaitu 2 ppm sudah dapat membahayakan karena bersifat toksik Untuk mengurangi kadar senyawa ini dapat dilakukan dengan proses adsorpsi dengan menggunakan zeolit Alam Lampung sebagai adsorben.</p> <p>Pada penelitian ini, dilakukan beberapa proses perlakuan terhadap zeolit alam lampung untuk mengoptimalkan kinerjanya dalam mengadsorpsi senyawa sulfur. Sampel gas yang digunakan adalah campuran udara - Tiosulfat. Sedangkan uji adsorpsi udara murni dilakukan sebagai kondisi referensi. Proses perlakuan adsorben yang dilakukan pada penelitian ini meliputi: Proses Dealuminasi yaitu dengan perendaman adsorben pada larutan HF 3% selama 20 menit; Proses pertukaran ion dalam larutan NH_4NO_3 0,1 N selama 2 jam dan dengan proses kalsinasi pada suhu $530\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Sedangkan variasi modifikasi perlakuan (<i>treatment</i>) zeolit yang dilakukan yaitu: Zeolit murni, Zeolit Dealuminasi, Zeolit Dealuminasi + Kalsinasi (Zeolit DK), Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion (Zeolit DP) dan Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion + Kalsinasi (Zeolit DPK).</p> <p>Berdasarkan hasil uji coba adsorpsi senyawa Sulfur dari berbagai jenis zeolit tersebut di atas diperoleh suatu hasil (secara kualitatif) bahwa bila proses Dealuminasi dilakukan sebagai perlakuan awal dapat menyebabkan kerusakan struktur zeolit yang dapat menurunkan luas permukaannya. Pada uji adsorpsi udara pada suhu ruang dengan laju alir udara 51,52 ml/s untuk zeolit Dealuminasi diperoleh hasil yang optimal sebesar 60 % N_2 maupun O_2 dapat teradsorp, sedangkan pada uji adsorpsi senyawa sulfur dari campuran udara – Tiosulfat pada kondisi operasi yang sama diperoleh hasil yang optimal pada zeolit alami. Selain itu dari percobaan terbukti bahwa senyawa sulfur yang bersifat polar dengan mudah dapat teradsorp dibandingkan Nitrogen dan Oksigen dalam udara yang bersifat nonpolar.</p>	
<p>Kata kunci: Senyawa sulfur, Hidrogen Sulfida (H_2S), Adsorpsi, Zeolit Alam Lampung, adsorben, <i>treatment</i>, polar, nonpolar.</p>	

Ariyo P 0404060101 Chemical Engineering Department	Project Supervisors: 1. Ir.Praswasti PDK Wulan, MT 2. Ir.Eva Fathul Karamah, MT
PREPARATIONS OF LAMPUNG NATURAL ZEOLIT AS A SUPPORT OF BIOFILTER TO SEPARATE SULPHURIC COMPOUND	
<p>ABSTRACT</p> <p>In addition to reduce the income of Natural gas, exhaust gas, containing Sulphuric compound also has the problem to cause air pollution. Sulphuric compound like Hydrogen Sulfide is very dangerous outside its limit (2 ppm) because of its toxic characteristic. To reduce the pollutant level from sulphuric compound, can be done by the adsorption process using Lampung natural zeolit as an adsorben.</p> <p>This research do the several treatment of Lampung natural zeolit to enhance its effort in Sulphuric compound adsorption process. In this project, the mixing of Air – Tiosulfate is used as a sample. In additon, the processs of pure air adsorption is done as a reference condition. The adsorben treatment in this research includes Dealumination process with dilute adsorben in HF 3% mixture within 20 minutes; Ion exchange process in NH₄NO₃ 0,1 N mixture within 2 hours; finally with kalsination at 530 °C within 5 hours. Moreover, the variation of treatment modification of zeolit is done, including: Pure zeolit, Dealumination zeolit, Dealumination + Kalsination zeolit (DK zeolit), Dealumination + Ion exchange zeolit (DP zeolit), and Dealumination + Ion exchange + Kalsination zeolit (DPK zeolit).</p> <p>Based on the result of Sulphuric compound adsorption process from all kind of zeolit above, the research conclude that if Dealumination process is done as the first treatment, then it can damage the zeolit structure. Next, can descend the surface area of zeolit itself. The processs of pure air adsorption at 25 °C with air flowrate at 51,52 ml/s result the optimal condition. This condition is reached by Dealumination zeolit which can adsorp N₂ until 60 %, the same result has been shown in O₂. Nevertheless, Sulphuric compound adsorption process from its mixing at the same operation condition result the different thing. This process result the optimal condition by Pure zeolit. Also, the research proved that sulphuric compound which has the polar characteristic of its band easily can be adsorped than Nitrogen and Oxygen which has the nonpolar characteristic of its band.</p>	
<p>Keywords : Sulphuric compound, Hydrogen Sulfide (H₂S), Adsorption, Lampung Natural Zeolit, Adsorben, treatment, polar, nonpolar</p>	

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala anugerah, rahmat, dan karunia-Nya dalam Islam sehingga makalah skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan referensi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Ibu Ir. Praswasti PDK Wulan, MT dan Ibu Eva Fathul Karamah ST, MT serta Ibu Dianursanti ST, MT selaku dosen pembimbing skripsi.
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia FT-UI atas ilmu yang telah diberikan pada penulis selama ini.
4. Ayah dan Ibu yang terus memberikan doa dan berkahnya pada penulis, tak lupa pula pada saudariku Asteria yang selalu mendukungku di Surabaya, kakak selalu cinta padamu.
5. Andina Dwi Astuti yang selalu menjadi sumber inspirasi dalam hidupku yang merupakan karunia-Nya yang tak terbatas.
6. Sahabat-sahabat lamaku Bayu, Endro, Fahed, Dino, serta Erika dan Pipit (you always be in my heart) yang selalu memberi support dan spirit pada penulis untuk selalu pantang menyerah menghadapi hidup.
7. SSC 2002'ers (Ating, Roland, Eva, dan lainnya yang tak mungkin disebut satu persatu) yang menginspirasi penulis akan pentingnya ilmu dan persahabatan yang dibangun didalamnya.
8. Teman-teman 2002'ers generasiku (from UI, ITB, ITS, UNPAD) yang kutemui dan kukenal serta yang pernah memberikan inspirasi dalam perjuanganku untuk mencari ilmu sehingga mendewasakan pikiran dan langkah yang sudah kutempuh selama ini (terima kasih, hidup 2002).
9. Seluruh rekan riset yang terlibat langsung maupun tak langsung dalam seluruh penelitianku di Laboratorium DTK.
10. Seluruh karyawan Teknik Kimia yang sering membantu proses penelitian ini

11. Kawan-kawan 2004 seperjuanganku yang selalu ceria kapanpun dan dimanapun yang berbagi suka dan duka denganku selama lebih kurang 4 tahun selama ini.
12. Pak Ibrahim, dan Kawan-kawan mentoringku (Safri, Danar, Ramos cs) yang telah membantuku menemukan keindahan dan kedamaian dalam Islam, “*Allah yubarik fik, Syukron*”.
13. Seluruh personil *G-3 concerto*, Dream Theatre, All Rockers in the world yang terus memberikan inspirasi serta inovasi pada karyanya yang tiada henti kepada penulis (Thank you so much), tak lupa pula pada gitar listrik kesayanganku yang selalu memberikan ide & kedamaian kapanpun.
14. Pihak-pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan tugas skripsi ini. Karena itu, saran dan kritik yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan dimasa yang akan datang.

Depok, 27 Juni 2008

Ariyo PH

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	1
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 ZEOLIT.....	5
2.1.1 Klasifikasi Zeolit.....	6
2.1.2 Struktur Kerangka Mineral Zeolit Alam	6
2.1.3 Jenis-Jenis Mineral Zeolit Alam	9
2.1.4 Zeolit Alam Lampung	10
2.1.5 Pemanfaatan Zeolit Alam	11
2.1.5.1 Zeolit sebagai Adsorben	11
2.1.5.2 Zeolit sebagai Penukar Ion.....	13
2.1.5.3 Zeolit sebagai Katalis/Penyangga Katalis	15
2.1.6 Aktivasi Zeolit.....	16
2.1.6.1 Dealuminasi	17
2.1.6.2 Pertukaran Ion	18
2.1.6.3 Kalsinasi	19
2.2 ADSORPSI.....	20
2.2.1 Jenis-jenis Adsorpsi.....	20

2.2.2	Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi.....	22
2.2.3	Kurva Terobosan.....	23
2.2.4	Keseimbangan Adsorpsi.....	24
2.2.4.1	<i>Adsorpsi Isotermis Freundlich</i>	24
2.2.4.2	<i>Adsorpsi Isotermis Langmuir</i>	25
2.3	UJI KARAKTERISASI DAN ANALISIS SAMPEL	27
2.3.1	Karakterisasi Luas Permukaan Zeolit dengan Metode BET.....	27
2.3.2	Analisis Kandungan Gas Dengan Metode <i>Gas Chromatograph</i>	28
2.3.3	Analisis Kandungan Tiosulfat Dengan Metode Titrasi Iodometri.....	28
2.4	BIOFILTER.....	29
2.5	SENYAWA SULFUR & MIKROBA PENDEGRADASI SENYAWA SULFUR.....	30
2.5.1	Senyawa Sulfur dalam Natrium Tiosulfat	30
2.5.2	Mikroba Pendegradasi Sulfur	31
BAB III METODE PENELITIAN.....		33
3.1	DIAGRAM ALIR PROSES PENELITIAN.....	33
3.2	ALAT DAN BAHAN	34
3.3	PROSEDUR PENELITIAN.....	35
3.3.1	Pembuatan Zeolit Alami.....	35
3.3.2	Pembuatan Zeolit Dealuminasi	36
3.3.3	Pembuatan Zeolit Dealuminasi + Kalsinasi (Zeolit DK)	37
3.3.4	Pembuatan Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion (Zeolit DP).....	37
3.3.5	Pembuatan Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion + Kalsinasi (Zeolit DPK).....	38
3.3.6	Karakterisasi Luas Permukaan dengan BET	38
3.3.7	Uji Adsorpsi udara dan Analisa GC-TCD	38
3.3.8	Kalibrasi Senyawa Tiosulfat	40
3.3.9	Uji Adsorpsi Tiosulfat	42
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		44
4.1	KARAKTERISASI LUAS PERMUKAAN.....	44
4.2	UJI ADSORPSI UDARA DENGAN ANALISIS GC-TCD.....	46
4.3	UJI ADSORPSI SENYAWA SULFUR DENGAN ANALISIS TITRASI IODOMETRI.....	51

4.4	PERBANDINGAN HASIL ADSORPSI UDARA DENGAN TIOSULFAT	56
4.5	APLIKASI ZEOLIT ALAMI UNTUK MENDEGRADASI SENYAWA TIOSULFAT DENGAN <i>THOBACILLUS THIOPARUS</i>	59
BAB V KESIMPULAN		61
5.1	KESIMPULAN.....	61
5.2	SARAN	62
DAFTAR PUSTAKA.....		63
LAMPIRAN		

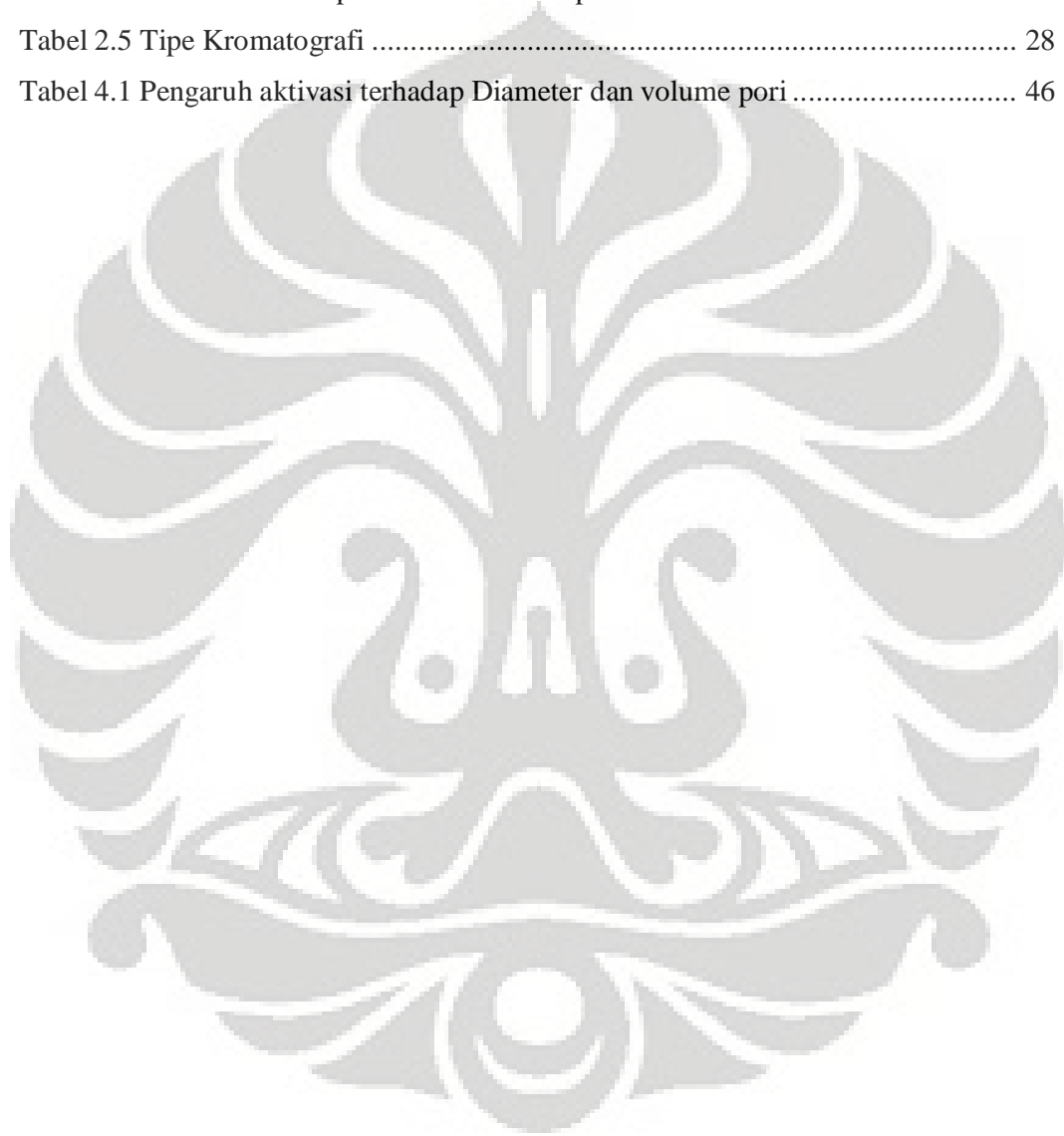


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyajian kerangka Aluminosilikat	7
Gambar 2.2 Unit penyusun primer	8
Gambar 2.3 Unit penyusun sekunder	8
Gambar 2.4 Struktur Kristal Zeolit Klinoptilolit	10
Gambar 2.5 Perubahan keasaman Zeolit	16
Gambar 2.6 <i>Breakthrough Curve</i> (Kurva Terobosan).....	23
Gambar 2.7 Grafik Isotermis Freundlich.....	25
Gambar 2.8 Grafik Isotermis Langmuir	26
Gambar 2.9 Permukaan Zeolit yang Tertutup Adsorbat	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian.....	33
Gambar 3.2 Skema alat kolom adsorpsi skala laboratorium	39
Gambar 3.3 Gambar alat uji adsorpsi Udara.....	40
Gambar 3.4 Skema peralatan uji kalibrasi senyawa sulfur.....	41
Gambar 3.5 Gambar alat uji adsorpsi Sulfur dalam Natrium Tiosulfat	42
Gambar 4.1 Pengaruh aktivasi pada luas permukaan ZAL	45
Gambar 4.2 Adsorpsi N ₂ dan O ₂ untuk Zeolit alami.....	47
Gambar 4.3 Adsorpsi N ₂ dan O ₂ untuk Zeolit Dealuminasi	48
Gambar 4.4 Adsorpsi N ₂ dan O ₂ untuk Zeolit DK.....	48
Gambar 4.5 Adsorpsi N ₂ dan O ₂ untuk Zeolit DP	49
Gambar 4.6 Adsorpsi N ₂ dan O ₂ untuk Zeolit DPK.....	50
Gambar 4.7 Kalibrasi Tiosulfat dengan variasi Konsentrasi masukan	52
Gambar 4.8 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit Alami	52
Gambar 4.9 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit Dealuminasi	53
Gambar 4.10 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit DK	54
Gambar 4.11 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit DP	54
Gambar 4.12 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit DPK	55
Gambar 4.13 Kurva adsorpsi Nitrogen dan Oksigen dalam Udara – Tiosulfat oleh Zeolit Alami.....	57
Gambar 4.14 Kurva adsorpsi Nitrogen dan Oksigen dalam Udara – Tiosulfat oleh Zeolit Dealuminasi	57
Gambar 4.15 Grafik Degradasi S ₂ O ₃ ²⁻ terhadap Waktu	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Bentuk kristal berbagai jenis zeolit.....	9
Tabel 2.2 Kapasitas tukar kation beberapa zeolit.....	14
Tabel 2.3 Selektivitas Ion	18
Tabel 2.4 Perbedaan adsorpsi Fisika dan adsorpsi Kimia	21
Tabel 2.5 Tipe Kromatografi	28
Tabel 4.1 Pengaruh aktivasi terhadap Diameter dan volume pori	46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Hasil tambang di sektor Gas Bumi, telah memberikan pendapatan yang berguna untuk meningkatkan kemakmuran negara kita. Dari keuntungan yang diperoleh, tidak dapat dipungkiri bahwa efisiensi dan peningkatan produksi di sektor gas bumi telah menjadi program utama pemerintah. Pada saat ini kegiatan penambangan pun lebih banyak difokuskan ke arah sektor gas bumi. Jika dilihat, Indonesia memiliki cadangan gas bumi yang masih lebih besar dibandingkan dengan cadangan minyak bumi. Dari hasil audit Indonesia Energy Outlook & Statistics tahun 2006, cadangan minyak bumi Indonesia tahun 2005 sekitar 8,63 Milyar barel sedangkan di tahun yang sama cadangan gas alam Indonesia sekitar 3,3 Trilyun barel. Namun gas bumi yang ada tersebut masih kurang berkualitas sehingga dapat menurunkan nilai keekonomisannya. Penyebab utamanya karena tingginya kandungan gas non Hidrokarbon seperti gas karbondioksida dan senyawa sulfur didalamnya.

Beraneka ragam senyawa sulfur terdapat dalam gas bumi, bentuknya pun bermacam-macam seperti gas H_2S , SO_2 , SO_3 , merkaptan dan sebagainya. Selain dapat menurunkan keekonomisan gas bumi, gas buang yang mengandung senyawa sulfur ini juga memiliki potensi untuk menimbulkan pencemaran udara jika terlepas ke udara. Senyawa sulfur seperti pada Hidrogen Sulfida pada konsentrasi yang masih sangat rendah yaitu 2 ppm sudah dapat membahayakan karena bersifat toksik (Fierdaus, 2006).

Telah banyak metode konvensional yang dikembangkan untuk mereduksi senyawa sulfur yang berbahaya, diantaranya adalah adsorpsi dengan karbon aktif, oksidasi ozon dan insinerasi (pembakaran). Tetapi, hampir semua metode itu memiliki kelemahan seperti tingginya kebutuhan energi dan biaya operasional yang dibutuhkan. Dalam mengatasi permasalahan itu, saat ini telah dikembangkan suatu metode baru dengan menggabungkan proses adsorpsi dengan aktivitas mikroba yang lebih sederhana serta lebih ramah lingkungan sehingga lebih efisien dibandingkan pengolahan gas secara kimia dan fisika biasa (Lens dan Pol, 2000) yaitu dengan proses Biofiltrasi.

Prinsip utama dari biofiltrasi adalah dengan melakukan penyaringan (filter) gas dengan cara memasukkannya ke dalam suatu kolom yang telah terisi dengan bahan pengisi (*packing material*) di dalamnya, serta melibatkan bantuan mikroorganisme. Bahan pengisi ini digunakan sebagai tempat hidup bagi mikroorganisme tersebut. Mikroorganisme yang digunakan akan terimobilisasi pada bahan pengisi dan membentuk lapisan film tipis *biofilm* atau *biolayer*, sehingga gas yang masuk diharapkan akan larut dan terserap ke dalam lapisan *biolayer* ini untuk selanjutnya dioksidasi dan diuraikan oleh mikroorganisme.

Salah satu sumber daya alam di Indonesia yang potensial untuk digunakan sebagai bahan pengisi untuk biofilter ini adalah zeolit alam diantaranya yaitu Zeolit Alam Lampung, Zeolit Alam Bayah, Zeolit Alam Gunung Kidul, dan Zeolit Alam Malang. Diantara jenis zeolit alam tersebut, Zeolit Alam Lampung paling banyak digunakan dalam proses adsorpsi karena tanpa diaktivasi zeolit ini sudah dapat digunakan secara langsung. Zeolit pada dasarnya merupakan struktur kristal berpori yang terdiri dari banyak *macropore* dan *channel* (saluran). Porositas yang tinggi dan luas permukaan yang besar menjadikan zeolit alam ini mampu mengadsorpsi dan memberikan suplai nutrisi untuk mikroorganisme. Pori-pori pada bagian dalam zeolit berisi ion-ion logam dan molekul air. Keberadaan molekul-molekul air ini akan menjaga kelembaban dari lapisan *biofilm* yang terbentuk. Selain itu, secara fisis zeolit merupakan struktur yang stabil sehingga diharapkan dapat digunakan untuk jangka waktu yang relatif lama. Karakteristik unik yang lain dari zeolit ini adalah memiliki distribusi diameter selektif pori yang tinggi, sehingga memungkinkan zeolit untuk berfungsi sebagai penyaring molekular (*molecular sieve*).

Kinerja zeolit untuk digunakan dalam proses adsorpsi sangat tergantung dari proses perlakuan awal. Ada banyak metode aktivasi zeolit yang sudah dikenal, seperti Dealuminasi, Pertukaran Ion, dan Kalsinasi. Zeolit murni yang belum diaktivasi akan memiliki daya adsorpsi yang masih belum optimal jika dibandingkan dengan zeolit yang sudah diaktivasi. Setiap jenis aktivasi zeolit memiliki karakteristik yang khas dalam kinerja zeolit sebagai adsorben, sehingga perlu dilakukan uji variasi perlakuan awal sebelum zeolit ini digunakan sebagai adsorben. Senyawa sulfur yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tiosulfat dari larutan Natrium Tiosulfat yang berada dalam campuran udara – Tiosulfat dengan mem-*bubbling* udara menggunakan kompresor ke larutannya. Karena komposisi udara sebagai *carrier gas* lebih besar dari

komposisi sulfur, uji adsorpsi senyawa Nitrogen dan Oksigen sebagai komponen penyusun udara perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum uji adsorpsi senyawa sulfur.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variasi perlakuan zeolit yang menghasilkan proses adsorpsi senyawa sulfur yang terbaik untuk selanjutnya dapat digunakan dalam proses biofiltrasi.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya maka rumusan masalah yang dapat diambil adalah:

1. Bagaimana kinerja zeolit alam lampung sebagai adsorben pada proses filtrasi senyawa N_2 dan O_2 dilanjutkan dengan filtrasi senyawa sulfur?
2. Bagaimana kinerja proses adsorpsi dengan berbagai macam *perlakuan* zeolit?
3. Parameter-parameter apa yang mempengaruhi proses adsorpsi senyawa Sulfur?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari kinerja zeolit alam lampung sebagai adsorben yang sudah mendapat perlakuan awal untuk proses filtrasi.
2. Menentukan jenis perlakuan pada zeolit yang menghasilkan optimalisasi proses adsorpsi.
3. Menganalisis parameter yang mempengaruhi proses adsorpsi senyawa sulfur oleh zeolit.

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan Masalah dari penelitian ini adalah:

1. Adsorben yang digunakan adalah zeolit alam Lampung granular dengan diameter sekitar 1,7 mm.
2. Adsorbat senyawa Sulfur yang digunakan adalah larutan $Na_2S_2O_3$ yang dibubbling dengan udara.

3. Preparasi zeolit menggunakan proses dealuminasi, pertukaran ion dan kalsinasi dengan variasi kombinasi dari ketiga proses tersebut.
4. Karakterisasi zeolit dilakukan dengan uji XRD dan BET.
5. Variabel bebas pada penelitian ini adalah waktu operasi.
6. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsentrasi outlet senyawa Tiosulfat

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan makalah skripsi ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN.

Bab ini menguraikan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah dalam penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah yang tercakup pada penelitian, serta sistematika penulisan makalah skripsi.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA.

Bab ini membahas teori umum mengenai sifat-sifat zeolit, pemanfaatan zeolit beserta metode aktivasinya, proses adsorpsi beserta *breakthrough curve*, sistem biofilter yang sudah dikembangkan saat ini, serta bakteri pereduksi senyawa Sulfur (*Thiobacillus sp.*).

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang rancangan metode penelitian serta cara mengukur hasil yang diperoleh.

4. BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil penelitian dan pembahasannya sesuai dengan tujuan penelitian dan batasan masalah yang sudah dirumuskan.

5. BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil dan saran penelitian secara keseluruhan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ZEOLIT

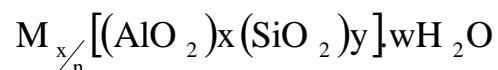
Pada tahun 1756, seorang ahli mineralogi bernama Axel Frederick Cronstedt menemukan suatu mineral alam *Stibite* yang akan kehilangan air ketika dididihkan dan ia memberi nama mineral itu dengan Zeolit (Mailisa, 2006). Zeolit didefinisikan sebagai suatu kristal Aluminosilikat dengan struktur berbentuk tetrahedral yang melingkupi rongga-rongga yang berisi molekul air dan kation. Kedua molekul tersebut dapat bergerak bebas sehingga akan memungkinkan terjadi pertukaran ion.

Zeolit merupakan suatu mineral aluminosilikat yang memiliki struktur kerangka yang melingkupi rongga-rongga (pores, channels, cages) dimana dalam rongga tersebut akan ditempati oleh ion-ion logam dan molekul-molekul air. Ion logam dan molekul air memiliki derajat kebebasan bergerak yang cukup tinggi, sehingga dapat dilakukan proses pertukaran ion dan dehidrasi secara reversible (Noorsyamsu 1996).

Pada pusat masing-masing tetrahedra yang saling berhubungan tersebut, terdapat sebuah atom T (yang didominasi oleh atom-atom Si dan Al) sehingga rasio Si / Al akan sangat mempengaruhi kinerja zeolit itu sendiri, sedangkan pada titik-titik sudut tetrahedra ditempati oleh atom-atom Oksigen.

Ion-ion logam yang terdapat pada rongga zeolit alam lampung ini merupakan ion-ion monovalen atau divalen (yang termasuk dalam logam alkali dan alkali tanah). Spesi ion logam yang dominan adalah ion Na, Ca, K, Mg dan Ba. Hal ini mencerminkan perbandingan kelimpahan geokimia serta derajat daya saing dengan mineral-mineral lainnya selama proses kejadiannya di alam.

Secara umum zeolit alam memiliki rumus molekul dengan pola sebagai berikut:



dimana M adalah logam alkali atau alkali tanah dengan valensi n, sementara x, y dan w adalah suatu bilangan bulat. Suku yang diberi tanda kurung [] merupakan unit sel

kristal zeolit. Kation logam dengan valensi n terdapat dalam rongga zeolit untuk menetralkan setiap tetrahedra alumunium yang bermuatan total -1 .

2.1.1 Klasifikasi Zeolit

Jika diklasifikasikan menurut cara perolehannya, zeolit dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis (Rifky, 1996). Zeolit alam merupakan mineral yang terbentuk melalui proses alam dan diperoleh dari alam. Kondisi batuan, tanah dan lingkungan tempat pembentukannya akan mempengaruhi sifat-sifat fisik, kimia, dan struktur mineral zeolit alam sehingga akan terbentuk berbagai macam spesiesnya. Contoh mineral yang terkandung dalam zeolit alam diantaranya adalah Klinoptilolit, Mordenit, Analsim, dan sebagainya. Lebih dari 150 jenis zeolit telah disintesis dan 48 jenis zeolit alam yang sudah diketahui. Keduanya berbasiskan mineral Hidrat Aluminosilikat yang menarik ion positif seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan lainnya. Ion positif ini cenderung tak stabil dan dapat mengalami pertukaran elektron pada pencampuran dengan larutannya.

Untuk jenis zeolit sintetis diperoleh dari proses rekayasa. Berdasarkan kadar Silika dan kadar Alumunium, zeolit sintetis dibagi menjadi tiga kelompok besar:

1. Zeolit berkadar Silika rendah ($\text{Si} / \text{Al} \approx 1$) karena kadar Si yang rendah maka daya tukar kation dalam zeolit akan maksimum
2. Zeolit berkadar Silika sedang ($\text{Si} / \text{Al} \approx 5$) bila dibanding dengan zeolit alam sifatnya mirip dengan klinoptilolit atau mordenit, seperti pada zeolit Omega
3. Zeolit berkadar Silika tinggi ($\text{Si} / \text{Al} > 10$) mampu menyerap molekul non polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk Hidrokarbon, seperti pada zeolit jenis ZSM-5 dan ZSM-11.

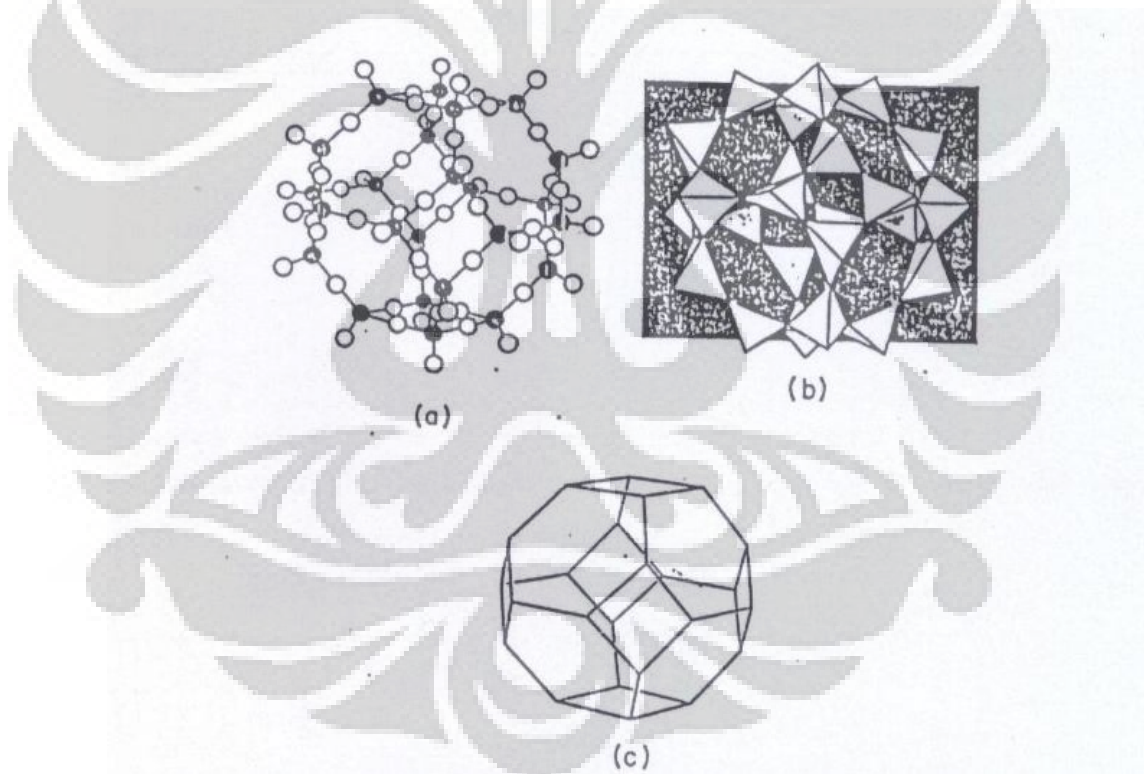
2.1.2 Struktur Kerangka Mineral Zeolit Alam

Dalam struktur mineral zeolit alam, elemen yang dapat secara tepat ditentukan spesifikasinya adalah mengenai kerangka Aluminosilikat, tetapi mengenai distribusi atom pada tempat tertentu didalam kristalnya cukup kompleks dan tidak pasti. Untuk kemudahan dalam memahami kerangka zeolit dapat dilakukan dengan mereduksi rangkaian pola atom dalam bentuk tampilannya yang paling sederhana. Seperti pada

anion Oksigen yang berukuran besar ($r \approx 1,35 \text{ \AA}$) yang pada titik pusat tetrahedra terletak kation yang lebih kecil (Al atau Si) akan cukup sulit jika digambarkan dalam konsep kimia, maka lebih baik jika perhatian lebih dipusatkan pada titik pusat tetrahedra saja.

Rangkaian tetrahedra yang ada dapat disederhanakan dengan menghubungkan titik pusat tetrahedra yang saling berdekatan (T-T linkages). Atom-atom Oksigen ini terletak di sekitar garis penghubung antar titik pusat tetrahedra. Jarak yang dimiliki oleh titik pusat tetrahedra terdekat pada kerangka Aluminosilikat adalah sekitar $3,1 \text{ \AA}$, sedangkan jari-jari sebuah anion Oksigen hanya sebesar $1,35 \text{ \AA}$ yang menyebabkan adanya rongga yang cukup tersedia bagi ruang gerak kation logam dan molekul air dalam zeolit tersebut.

Pada Gambar 2.1 diilustrasikan penyajian kerangka Aluminosilikat dengan tiga cara yang berbeda:

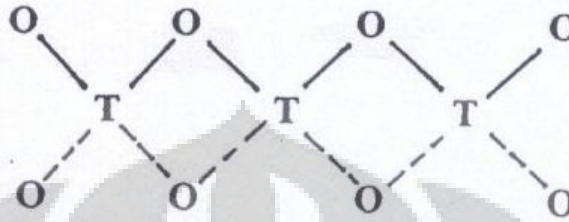


Gambar 2.1 Penyajian kerangka Aluminosilikat

Zeolit alam pada dasarnya memiliki unit penyusun kerangka yang diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Unit penyusun primer:

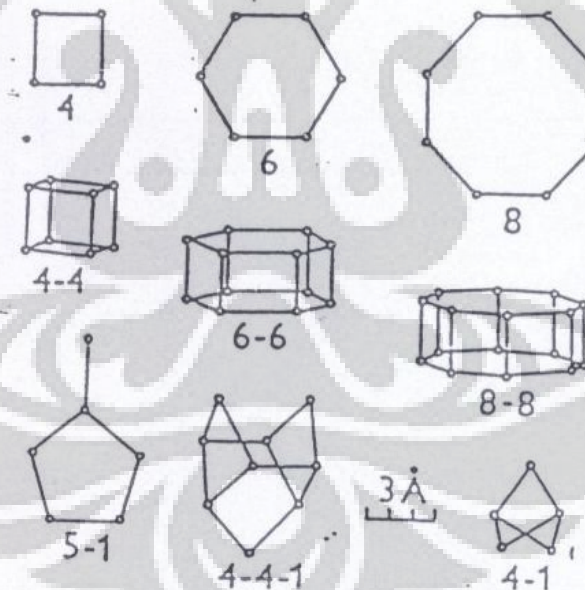
Pada Gambar 2.2 terlihat susunan tetrahedra membentuk rantai. Atom T adalah atom pusat tetrahedra (Si atau Al)



Gambar 2.2 Unit penyusun primer

b. Unit penyusun sekunder:

Pada Gambar 2.3 terlihat susunan tetrahedra membentuk cincin, dapat berupa cincin tunggal, cincin ganda atau cincin yang lebih kompleks.



Gambar 2.3 Unit penyusun sekunder

c. Unit penyusun lain:

Merupakan polihedra yang besar, simetris dan menyerupai sangkar (cage), seperti pada *sodalite unit*.

Sehingga jika kita lihat struktur zeolit secara keseluruhan dapat terlihat gabungan dari Polihedron-Polihedron simetris yang membentuk jaringan rongga teratur ke segala arah yang dapat terisi oleh kation-kation dan molekul air.

2.1.3 Jenis-Jenis Mineral Zeolit Alam

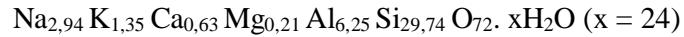
Pada Tabel 2.1 dijabarkan beberapa jenis mineral zeolit alam serta bentuk kristalnya:

Tabel 2.1 Bentuk kristal berbagai jenis zeolit

Jenis mineral Zeolit	Bentuk Kristal
Analsim	Kristal trapezohedral
Laumontit	Prismatik
Yugawaralit	Tabular
Brewsterit	Prismatik - tabular
Gosekrekite	Kristal imperfek dan teragregat
Natrolit	Prismatik - Asikular, <i>radiating agregate</i>
Tetranatrolit	Prismatik
Mesolit	Prismatik - Asikular, <i>radiating agregate</i>
Skolesit	Prismatik, <i>radiating agregate</i>
Gonardit	Prismatik - Asikular, <i>fibrous agregate</i>
Thomsonit	<i>Prismatic to lamellar rosettes</i>
Edingtonit	Prismatik
Mordenit	<i>Radiating fibrous or felted aggregates</i>
Dakiardit	<i>Fibrous</i>
Epistilbit	Prismatik
Ferierit	<i>Radiating aggregates</i>
Bikitait	<i>Prismatic b-elongation</i>
Heulandit	<i>Tabular to equant</i>
Klinoptilolit	<i>Tabular, radiating aggregates</i>

2.1.4 Zeolit Alam Lampung

Zeolit alam lampung merupakan jenis zeolit alam yang paling banyak digunakan sebagai adsorben dimana memiliki rumus molekuler sebagai berikut:

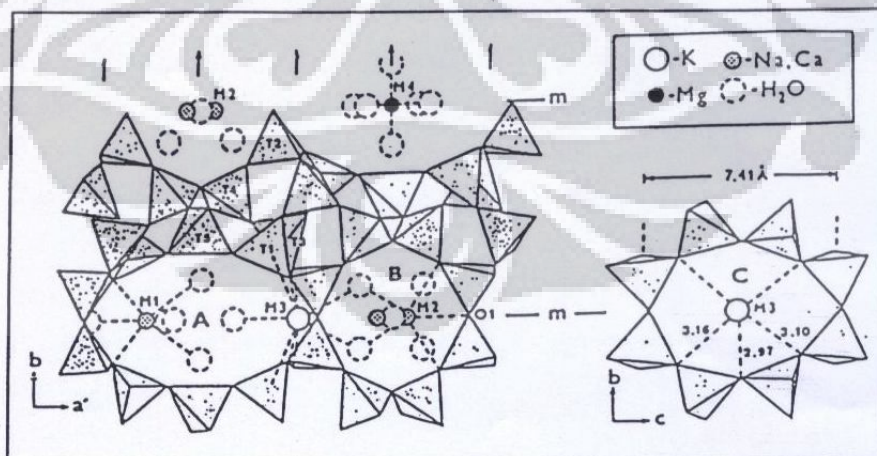


dengan komposisi kimiawi adalah :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	K ₂ O	CaO	Lainnya
72,6 %	12,4 %	1,19 %	0,45 %	0,16 %	1,15 %	2,17 %	3,56 %	6,32 %

Dengan melihat rumus molekuler zeolit alam lampung memiliki rasio Si/Al yang cukup tinggi (Dennis, 1997). Zeolit alam lampung dilaporkan masih mengandung zeolit jenis Analsim sebanyak 14 %, Mordenit 8 % dan Klinoptilolit 78 % (Noorsyamsu, 1996). Struktur kristal zeolit Klinoptilolit digambarkan pada Gambar 2.4 dibawah.

Untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas tentang zeolit alam lampung ini dimana mineral penyusun utamanya yaitu dari mineral Klinoptilolit (sekitar 78%), akan dijelaskan struktur rangka dari zeolit jenis Klinoptilolit ini. Pada dasarnya zeolit ini dibangun oleh unit yang terdiri dari unit-unit primer yang membentuk unit sekunder 8 dan 10 cincin. Unit-unit sekunder ini lalu akan bergabung membentuk unit polihedral, lalu pada bagian tengahnya dari rongga yang ada (cincin) terisi oleh molekul air dan kation logam dari golongan alkali dan alkali tanah.



Gambar 2.4 Struktur Kristal Zeolit Klinoptilolit

2.1.5 Pemanfaatan Zeolit Alam

Pada mulanya zeolit hanya dikenal sebagai campuran bahan bangunan. Setelah dilakukan penelitian oleh para ahli kimia dan mineral ternyata zeolit memiliki beberapa aspek teknologi kimia antara lain aspek adsorpsi, aspek penukar ion dan aspek katalis, sehingga akhirnya penggunaan zeolit makin luas pada aplikasinya di bidang pertanian, peternakan, perikanan, pelestarian lingkungan, industri, dan sebagainya (Dennis, 1997).

Pemanfaatan zeolit ini didasarkan atas satu atau lebih dari sifat-sifat fisika atau kimia zeolit yang meliputi:

- Pertukaran ion
- Adsorpsi dan sifat yang berhubungan dengan *molecular sieve*
- Dehidrasi dan rehidrasi
- Komposisi silika

sifat tersebut merupakan fungsi dari struktur kristal, *framework*, dan komposisi kation. Secara umum pemanfaatan utama zeolit ada dua macam yaitu sebagai adsorben dan sebagai penukar ion (*ion exchange*).

2.1.5.1 Zeolit sebagai Adsorben

Zeolit adalah material adsorben yang unik, dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300-400 °C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Luas permukaan yang tersedia untuk adsorpsi mencapai beberapa ratus meter kuadrat per gram sehingga beberapa mineral zeolit mampu untuk menyerap gas sampai sebanyak 30 % dari berat keringnya. Ada dua jenis adsorpsi yang terjadi pada permukaan zeolit yaitu:

1) Adsorpsi kimia

Terjadi karena adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorbennya. Adsorpsi jenis ini tidak reversible dan hanya membentuk lapisan tunggal. Adsorpsi ini umum terjadi pada suhu tinggi dan pada kalor adsorpsi yang tinggi pula.

2) Adsorpsi fisika

Terjadi bila molekul-molekul adsorbat bergabung tanpa disertai reaksi pada permukaan adsorben. Molekul-molekul adsorbat terikat disebabkan karena adanya gaya tarik-menarik yang relatif lemah dengan permukaan adsorben, gaya ini adalah gaya Van Der Waals, sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Adsorpsi ini berlangsung cepat, reversibel, dan pada kalor adsorpsi yang rendah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi pada permukaan zeolit diantaranya adalah:

1. Jenis adsorbat
 - ♦ Ukuran molekul adsorbat
Rongga terjadinya adsorpsi dapat dicapai melewati ukuran yang sesuai sehingga molekul-molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameter molekulnya sama atau lebih kecil dari diameter pori.
 - ♦ Kepolaran adsorbat
Molekul polar akan lebih kuat diadsorpsi daripada molekul yang kurang polar apabila diameter molekulnya sebanding. Molekul yang lebih polar akan dapat menggantikan molekul yang kurang polar yang lebih dulu diadsorpsi.
2. Luas permukaan zeolit
Jumlah molekul adsorbat akan bertambah dengan bertambahnya luas permukaan adsorben.
3. Suhu
Proses adsorpsi merupakan proses eksotermis yang berarti jumlah senyawa yang diadsorpsi akan bertambah dengan pengurangan temperatur.
4. Tekanan
Jumlah adsorbat yang mampu diserap oleh adsorben sangat tergantung pada tekanan adsorbat. Semakin besar tekanan adsorbat akan semakin banyak adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben.
5. Kemurnian adsorben
Adsorben yang lebih murni memiliki daya adsorpsi yang lebih baik.

Penggunaan zeolit sebagai adsorben telah dikenal luas karena zeolit memiliki sifat yang selektif serta memiliki kapasitas yang tinggi. Sifat selektif dari zeolit yang dikenal yaitu:

- Zeolit merupakan pengadsorpsi yang selektif terhadap molekul polar
- Zeolit dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran molekul

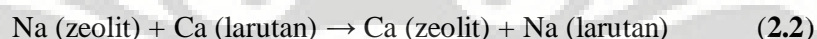
2.1.5.2 Zeolit sebagai Penukar Ion

Kemampuan zeolit sebagai penukar ion tergantung pada banyaknya kation tukar pada zeolit. Banyaknya kation tukar pada zeolit ditentukan oleh banyaknya kation Si^{4+} yang diganti oleh kation lain yang bervalensi tiga atau lima. Pada zeolit alam kation Si^{4+} biasanya akan diganti oleh kation Al^{3+} , sehingga kapasitas tukar kationnya akan ditentukan dari perbandingan antara Silikon dengan Aluminium (rasio Si / Al), disini kation Si^{4+} biasanya dapat digantikan kation lain yang memiliki ukuran yang sesuai dengan ruang di pusat tetrahedral Oksigen.

Penggantian ion Si^{4+} oleh kation lain yang tidak bervalensi empat disebut dengan penggantian *Isomorf* (Isomorphous substitution). Penggantian ini akan memerlukan kation lain untuk menetralkan muatannya dan juga dapat berfungsi sebagai kation tukar. Penggantian secara isomorf dapat dijelaskan melalui mekanisme singkat berikut ini:



Kation tukar pada zeolit dapat ditukar dengan kation lain dari logam golongan alkali dan alkali tanah karena kation tukar tak terikat dalam empat atom Oksigen seperti Si^{4+} dan Al^{3+} . Contoh mekanisme pertukaran kation digambarkan melalui skema berikut ini:



Sifat-sifat pertukaran ion pada dasarnya juga dipengaruhi hal-hal sebagai berikut:

1. Ukuran rongga zeolit
Semakin besar ukuran rongga zeolit maka akan semakin besar kemampuan zeolit untuk melakukan pertukaran ion.
2. Rasio Si / Al
Karena muatan negatif dari zeolit merupakan fungsi dari banyaknya ion Al^{3+} maka kapasitas tukar kationnya juga merupakan fungsi dari rasio Si / Al, sehingga akan semakin memperbesar kapasitas tukar

kation suatu zeolit. Pada Tabel 2.2 disajikan kapasitas tukar kation beberapa zeolit berdasarkan ukuran pori dan rasio Si / Al:

Tabel 2.2 Kapasitas tukar kation beberapa zeolit

Jenis Zeolit	Ukuran rongga	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	Kapasitas tukar kation (meq/g)
Analsim	2,6 A	4	4,9
Klinoptilolit	3,7 A x 4,2 A	4	4,9
	4,0 A x 5,5 A	10	2,6
Erionit	3,6 A x 5,5 A	5	3,3
Ferierit	3,6 A x 5,2 A	11	2,4
	3,4 A x 4,6 A		
Mordenit	6,7 A x 7,0 A	10	2,6
	2,9 A x 5,7 A		
Philipsit	4,2 A x 4,4 A	4,4	4,7
	4,3 A x 4,0 A		

Sumber: Noorsyamsu, 1996

3. Volume ion

Ukuran dari ion-ion yang masuk dapat mempengaruhi laju dan jumlah pertukaran ion. Sebagai contoh ion NH₄⁺ akan mengalami proses pertukaran ion yang cukup lambat karena ukuran molekulnya hampir setara dengan ukuran rongga zeolit.

4. Selektifitas ion

Pada umumnya setiap jenis zeolit memperlihatkan urutan selektifitas ion yang berbeda-beda. Ion dengan selektifitas yang tinggi akan lebih mudah masuk dalam rongga-rongga zeolit.

5. Suhu

Semakin besar temperatur maka laju pertukaran ion juga akan semakin cepat.

2.1.5.3 Zeolit sebagai Katalis/Penyangga Katalis

Zeolit juga dapat digunakan sebagai katalis maupun sebagai penyangga katalis untuk reaksi-reaksi katalitik. Ciri khusus dari zeolit adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran didalamnya. Bila zeolit digunakan pada proses katalisis maka akan terjadi difusi molekul dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia juga dapat terjadi di permukaan saluran tersebut.

Pada rangka zeolit yang mengandung air, kationnya dapat bergerak dan digantikan oleh kation lain. Sifat ini dapat dimanfaatkan untuk menukar kation pengotor pada permukaan zeolit dengan proton. Zeolit yang telah melalui tahap pengasaman akan memiliki luas permukaan yang lebih tinggi sehingga perannya sebagai katalis atau penyangga akan dapat lebih baik.

Zeolit ini juga dapat berfungsi sebagai katalis asam karena kationnya dapat dipertukarkan, contoh pada zeolit alam lampung ini yang banyak memiliki kation logam Ca (Noorsyamsu, 1996), maka bila ditukar dengan ion NH_4^+ serta diikuti pemanasan maka pada permukaan zeolit akan terdapat ion H^+ yang membentuk gugus Hidroksil (OH^-) dengan atom Oksigen. Secara katalitik, ion H^+ ini berfungsi sebagai pusat aktif atau sering dikenal dengan sebutan inti asam. Secara katalitik, inti aktif adalah gugus hidroksil asam yang berhubungan dengan atom-atom Aluminium Tetrahedra.

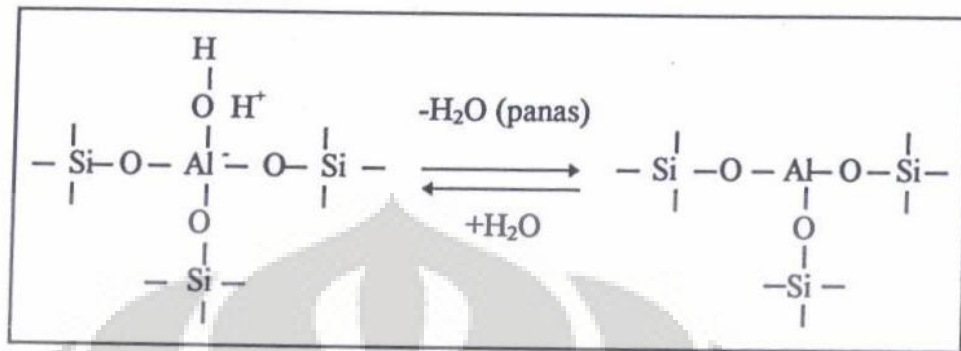
Keasaman pada kerangka zeolit dibagi dalam dua kelompok yaitu pusat asam Bronsted dan pusat asam Lewis:

- Asam Bronsted
Merupakan suatu spesi yang dapat memberi proton (H^+)
- Asam Lewis
Merupakan spesi yang dapat menerima sepasang elektron bebas yang dikombinasikan dengan zat kedua yang memiliki sepasang elektron bebas

Zeolit ini memiliki dua jenis keasaman yaitu asam Bronsted dan asam Lewis dimana keasaman Bronsted ini dapat diubah menjadi keasaman Lewis dengan cara memanaskan zeolit pada suhu tinggi.

Melalui ilustrasi Gambar 2.5 dibawah ini terlihat bahwa spesi Aluminium memiliki sisi yang dapat menerima sepasang elektron bebas sehingga dapat bertindak

sebagai asam Lewis. Keasaman Lewis ini dapat berubah menjadi keasaman Bronsted dengan hadirnya H₂O pada zeolit.



Gambar 2.5 Perubahan keasaman Zeolit

Dalam struktur zeolit seperti diatas, sebagian ion Al³⁺ dapat menggantikan ion Si⁴⁺. Ion Al³⁺ ini mengambil tempat Si⁴⁺ di pusat tetrahedron (bidang empat) SiO₄ dan kation-kation alkali dan alkali tanah menempati rongga-rongga di dekatnya dalam struktur kristal. Substitusi [-SiO₄-] oleh ion [-AlO₄-] pada tetrahedral merupakan faktor dasar dari sifat aluminosilikat karena menimbulkan pusat aktif berupa muatan aktif pada atom Al. Penjelasan dari fenomena ini adalah suatu atom Al yang memiliki 3 elektron valensi, sedangkan atom silikon memiliki 4 elektron valensi. Substitusi atom Si dengan atom Al akan menyebabkan muatan Al menjadi negatif karena harus berinteraksi dengan satu elektron tambahan dari atom oksigen sebagai ion [AlO₄]⁻.

Agar terjadi keseimbangan muatan listrik, muatan negatif dari [AlO₄]⁻ tersebut membutuhkan adanya penambahan muatan positif logam alkali atau alkali tanah. Kation-kation dalam struktur zeolit tidak terikat pada posisi yang tetap, tetapi bergerak bebas dalam rongga-rongga zeolit dan bertindak sebagai *Courier ion* yang dapat dipertukarkan dengan kation-kation lainnya. Kondisi ini memungkinkan zeolit bertindak sebagai katalis asam.

2.1.6 Aktivasi Zeolit

Aktivasi zeolit pada dasarnya dilakukan untuk meningkatkan mutu zeolit, agar dapat diperoleh sifat-sifat yang diinginkan sehingga nantinya diharapkan zeolit ini dapat dipakai pada aplikasi sebagai adsorben. Untuk dapat digunakan sebagai adsorben maka zeolit harus memiliki inti aktif. Aktivasi terhadap zeolit bertujuan

untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan yang tinggi dengan menghilangkan pengotor-pengotor yang ada pada pori-pori zeolit.

Ada beberapa metode yang sudah dikenal untuk mengaktivasi zeolit alam diantaranya adalah Dealuminasi, Pertukaran ion dan Kalsinasi.

2.1.6.1 Dealuminasi

Karena zeolit merupakan mineral multifungsi, dimana salah satu fungsinya yaitu sebagai katalis asam, maka derajat keasaman maksimum dan aktivitas katalis zeolit terjadi jika rasio Si / Al lebih besar dari satu. Proses Dealuminasi ini pada dasarnya bertujuan untuk memodifikasi bentuk struktur, pori dan luas permukaan agar selanjutnya lebih mudah digunakan terutama untuk proses dengan katalis.

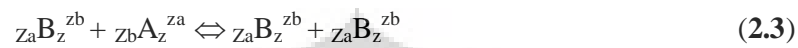
Modifikasi tersebut dapat membuka peluang molekul berukuran besar berinteraksi dalam struktur zeolit. Proses Dealuminasi ini akan meningkatkan stabilitas termal pada suhu tinggi. Proses ini akan menyebabkan alumina tetrahedral dari posisi rangka keluar dari posisinya. Pada penelitian ini digunakan larutan Hidrogen Fluorida sebanyak 3 %. Tetapi sebelum didealuminasi zeolit murni ini harus mengalami pre kalsinasi terlebih dahulu yaitu dipanaskan dalam oven pada suhu diatas 110 °C selama 2 jam untuk menguapkan kandungan airnya.

Proses Dealuminasi ini menggunakan Asam Florida (HF) yang merupakan asam kuat karena anionnya yaitu ion F⁻ merupakan golongan halogen yang umumnya jika terikat dengan ion H⁺ akan membentuk asam kuat. Proses Dealuminasi ini bertujuan untuk menghilangkan alumina yang terdapat pada zeolit. Dengan menggunakan asam kuat seperti HF, diharapkan dapat menarik Alumina keluar, tetapi penggunaan senyawa asam ini telah merusak struktur zeolit yang ada sehingga mengurangi luas permukaan zeolit yang mempengaruhi kinerja adsorpsinya.

Dari penelitian yang sudah dilakukan (Suhendra, 1997) diperoleh hasil bahwa untuk jenis zeolit Mordenit dan Klinoptilolit berkurangnya kation ini akan memperbesar ukuran saluran dan rongga pori dalam struktur zeolit sehingga berimbas pada kenaikan luas permukaan zeolit.

2.1.6.2 Pertukaran Ion

Pertukaran ion dalam zeolit adalah suatu proses dimana dalam kation pada sistem pori intrakristalin yang ada selanjutnya ditukar dengan kation lain yang berasal dari larutan. Larutan dan zeolit selanjutnya akan mencapai kesetimbangan sesuai dengan persamaan:



dimana z_a dan z_b merupakan muatan kation A dan B yang bertukar, sedangkan z dan s menunjukkan zeolit dan larutan. Pertukaran ion ini tidak akan berlangsung sempurna jika konsentrasi larutan yang digunakan tidak sangat besar atau temperatur sistem dinaikkan sehingga selanjutnya dapat menggeser kesetimbangan ke kanan.

Setiap spesi atau jenis zeolit memiliki urutan selektivitas pertukaran ion yang berlainan. Selektivitas ion dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah:

- Struktur terbentuknya zeolit yang mempengaruhi besarnya rongga yang terbentuk
- Mobilitas ion tukar
- Pengaruh difusi ion dalam larutan dan energi hidrasi

Urutan selektivitas menurut kenaikan kemudahan pertukaran ion pada berbagai zeolit dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Selektivitas Ion

Jenis Zeolit	Urutan Selektivitas	Peneliti
Analsim	K < Li < Na < Ag	Barrer (1950)
Khabazit	Li < Na < K < Cs	Sherry (1969)
Klinoptilolit	Mg < Ca < Na < NH ₄ < K	Ames (1961)
Heulandit	Ca < Ba < S < Li < Na < Rb < K	Filizova (1974)
Mordenit	Li < Na < Rb < K < Cs	Ames (1961)

Sebagai contoh misal pada aktivasi dengan penambahan ion Amonium Asetat (NH₄⁺) akan menyebabkan terjadinya pertukaran kation antara ion NH₄⁺ yang berasal dari larutan Amonium Asetat dengan ion Natrium yang terdapat pada zeolit. Karena pada zeolit alam banyak terdapat zat organik, maka ketika ditambahkan Amonium Asetat akan menyebabkan terjadinya reaksi antara senyawa organik dengan Amonium Asetat yang akan membentuk senyawa Alkil Amonium.

Pada penelitian ini metode pertukaran ion dilakukan dengan cara mengaduk zeolit di dalam larutan NH_4NO_3 0,1 N. Performa pertukaran ion pada zeolit ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya:

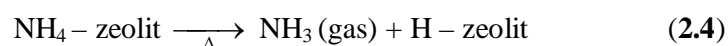
1. Sifat kation yang akan dipertukarkan
2. suhu pertukaran kation
3. konsentrasi spesies kation dalam larutan
4. waktu pengadukan
5. Sifat struktur zeolit yang bersangkutan

Tujuan pencampuran zeolit dengan larutan NH_4NO_3 pada penelitian ini adalah untuk menukarkan ion NH_4^+ yang memiliki selektifitas lebih baik ke dalam rongga zeolit untuk menggantikan kation alkali dan alkali tanah yang ada. Karena penelitian ini dilakukan untuk mengubah zeolit sebagai adsorben dan bukan katalis maka larutan garam yang digunakan cukup memiliki konsentrasi yang kecil (0,1 N), apalagi ditambah sifat larutan garam yang terbentuk adalah garam asam karena mengandung anion NO_3^- yang jika bereaksi dengan H^+ akan membentuk asam kuat sehingga dapat merusak struktur zeolit kembali.

Jika dilihat dari suhu operasi, proses pertukaran ion ini dilakukan pada suhu kamar, sehingga kapasitas tukar kation agak kurang optimal. Hal ini didasarkan pada pengaruh suhu yang jika dinaikkan akan dapat meningkatkan kapasitas kation tukar ke dalam zeolit. Pengaruh waktu operasi juga ditunjukkan dengan semakin lamanya waktu pengadukan akan semakin memperbesar kapasitas ion tukar. Pada penelitian ini digunakan waktu operasi selama 2 jam dengan rotasi stirrer 450 RPM (Rifky, 1996).

2.1.6.3 Kalsinasi

Kalsinasi adalah perlakuan panas terhadap zeolit pada temperatur yang relatif tinggi dalam furnace yang bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaan pori-pori akan bertambah, selain itu juga untuk menghilangkan zat organik yang dikandung zeolit, serta untuk menguraikan ion NH_4 – zeolit sehingga dapat diperoleh H – zeolit:



Melalui kalsinasi dalam furnace ini, Alumina-Silika yang tidak stabil dapat tersusun kembali menjadi lebih stabil yang memiliki struktur kristal yang baik. Pada

praktiknya kalsinasi terhadap bentuk NH_4 – zeolit ini perlu dilakukan di atas $500\text{ }^\circ\text{C}$ untuk menguapkan ion NH_4^+ baru dapat terbentuk H – zeolit.

Aktivasi dengan kalsinasi ini dilakukan didalam furnace pada suhu operasi $530\text{ }^\circ\text{C}$ karena H – zeolit sebagai inti asam dapat terbentuk pada suhu tinggi. Pada sampel Zeolit DK dan Zeolit DPK, waktu operasi dilakukan selama 5 jam dengan harapan agar seluruh uap air yang masih terkandung dalam pori-pori zeolit tersebut dapat teruapkan serta kerusakan struktur yang mungkin terjadi dapat diperbaiki sehingga daya adsorpsi pun dapat lebih meningkat.

2.2 ADSORPSI

Adsorpsi adalah suatu proses dimana molekul-molekul senyawa organik dalam bentuk gas dan cair yang terlarut diangkut masuk ke dalam butiran padat dengan difusi lalu diadsorp ke permukaan dalam yang luas dari senyawa yang dapat menyerap akibat dari adanya gaya adhesi (Sontheimer et al., 1988). Senyawa-senyawa organik yang diadsorp disebut dengan adsorbat dan senyawa yang berfungsi untuk menyerap disebut adsorben. Proses adsorpsi ini mengakumulasikan adsorbat ke permukaan adsorben (Ruthven, 1984). Proses penyerapan akan berhenti pada saat adsorben sudah menjadi jenuh.

Proses adsorpsi ini sering dimanfaatkan dalam pengolahan air minum, terutama pada daerah yang air tanahnya tercemar. Adsorben yang paling banyak digunakan dalam pengolahan air adalah karbon aktif karena dapat menghilangkan komponen pencemar yang bervariasi. Umumnya karbon aktif digunakan dalam proses pengolahan air dalam rangka menghilangkan bau dan rasa pengotor yang dimiliki air tersebut (Qasim et al., 2000).

2.2.1 Jenis-jenis Adsorpsi

Bentuk paling sederhana dari adsorpsi disebut dengan adsorpsi Fisika (*physisorption*) yang disebabkan adanya mekanisme ikatan sekunder intermolekuler (gaya Van der Waals) yang relatif lemah dan oleh adanya gaya elektrostatik antara molekul-molekul adsorbat dengan atom-atom yang menyusun permukaan adsorben (Akbar, 2006). Gaya ini mengarahkan molekul-molekul adsorbat ke permukaan adsorben. Adsorpsi ini akan berlangsung cepat dan membentuk lapisan jamak dan

juga bersifat dapat balik karena energi yang dibutuhkan relatif kecil. Biasanya energi aktivasi agar adsorpsi Fisika terjadi tidak lebih dari 1 kkal/gmol (Adiprawiro, 2005).

Adsorpsi kimia mencakup adanya transfer elektron antara adsorbat dan adsorben (mirip dengan ikatan kimia). Adsorpsi kimia bersifat tidak dapat balik dan jika terjadi proses desorpsi, maka akan terjadi perubahan struktur kimia dari adsorbatnya. Ketika molekul adsorbat terserap pada permukaan adsorben maka molekul tersebut akan membentuk lapisan tunggal. Panas adsorpsi dan energi aktivasi yang dibutuhkan untuk adsorpsi kimia ini lebih besar (masing-masing 9-90 kal dan kurang dari 9-60 kal/mol) (Sudirjo, 2004). Perbedaan adsorpsi Fisika dan Kimia digambarkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Perbedaan adsorpsi Fisika dan adsorpsi Kimia

No	Parameter	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
1	Adsorben	Semua jenis	Terbatas
2	Adsorbat	Semua gas	Kecuali gas mulia
3	Jenis ikatan	Fisika	Kimia
4	Panas adsorpsi	5-10 kkal/gmol gas	10-100 kkal/gmol gas
5	Temperatur operasi	Dibawah temperatur kritis	Diatas temperatur kritis
6	Energi aktivasi	Kurang dari 1 kkal/gmol	10-60 kkal/gmol
7	Reversibilitas	Reversible	Irreversible
8	Tebal lapisan	Jamak (<i>multilayer</i>)	Tunggal(<i>monolayer</i>)
9	Kecepatan adsorpsi	Besar	Kecil
10	Jumlah zat teradsorpsi	Sebanding dengan kenaikan tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat
11	kegunaan	Untuk penentuan luas permukaan dan ukuran pori	Untuk penentuan daerah pusat aktif dan penjelasan kinetika reaksi permukaan

Sumber: Adiprawiro, 2005

2.2.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Kemampuan adsorben untuk mengadsorpsi adsorbat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Adiprawiro, 2005):

- Jenis adsorbat, ditinjau dari:
 - a. Ukuran molekul adsorbat
Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal yang penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.
 - b. Polaritas molekul adsorbat
Jika diameter sama, maka molekul-molekul yang lebih polar akan lebih dapat diadsorpsi. Jadi polaritas molekul adsorbat juga perlu diperhatikan karena molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang telah teradsorpsi.
- Sifat adsorben, ditinjau dari:
 - a. Kemurnian adsorben
Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.
 - b. Luas permukaan adsorben
Dalam proses adsorpsi, seringkali adsorben diberikan perlakuan awal untuk meningkatkan luas permukaannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi. Semakin luas permukaan adsorben, maka jumlah adsorbat yang dapat diadsorpsi akan lebih banyak.
- Temperatur
Dalam proses adsorpsi terjadi pelepasan panas ke lingkungan atau dengan kata lain merupakan suatu proses eksotermis. Jadi dengan berkurangnya temperatur adsorbat, jumlah adsorbat yang dapat diadsorpsi semakin bertambah.

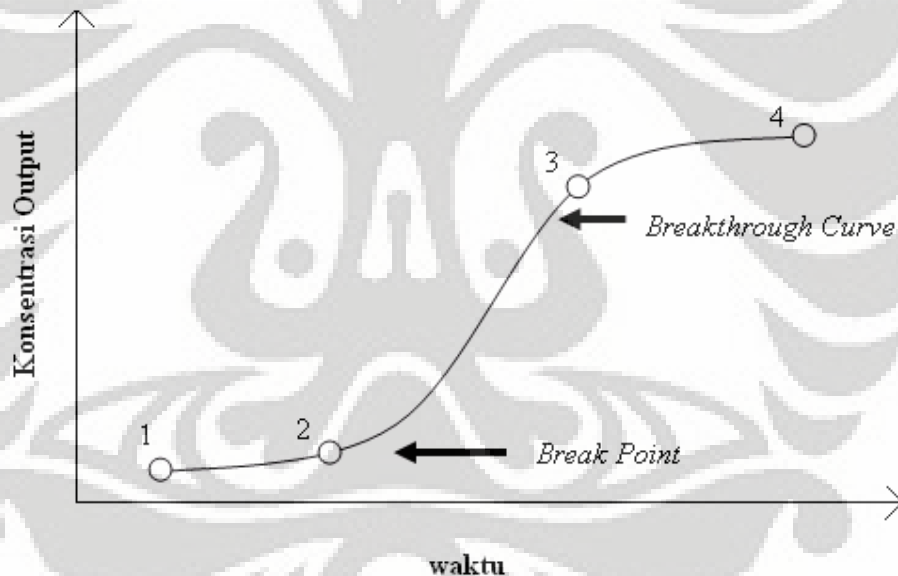
- o Tekanan

Pada adsorpsi Fisika, jumlah zat yang diadsorpsi akan bertambah dengan menaikkan tekanan adsorbat. Sebaliknya, pada adsorpsi kimia jumlah zat yang diadsorpsi akan berkurang dengan menaikkan tekanan adsorbat.

2.2.3 Kurva Terobosan

Jika mempelajari adsorpsi, maka tidak bisa terlepas dari istilah *breakthrough curve*. Kurva terobosan (*breakthrough curve*) merupakan kurva yang menggambarkan suatu rentang kondisi dimana mengenai terjadinya penurunan drastis jumlah adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben. Kondisi penurunan jumlah adsorbat yang teradsorpsi ini terjadi sebelum mengalami kesetimbangan adsorpsi (Sontheimer, 1988).

Contoh *breakthrough curve* dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut (Alfian, 2007).



Gambar 2.6 *Breakthrough Curve* (Kurva Terobosan)

Breakthrough curve menggambarkan fenomena yang terjadi selama proses adsorpsi. Dari gambar diatas terlihat:

- Proses adsorpsi dimulai pada titik 1, pada kondisi ini adsorpsi berjalan dalam laju yang relatif sama (konstan) sampai dengan titik 2.
- Titik 2 pada kurva ini merupakan titik balik (*breakpoint*), dimana terjadi penurunan secara drastis jumlah adsorbat yang dapat diserap oleh adsorben

sampai dengan titik 3. Daerah yang berada pada rentang antara titik 2 dan 3 ini disebut dengan kurva terobosan (*breakthrough curve*).

- Penurunan jumlah adsorbat terus terjadi dari titik 3 sampai dengan titik 4, tetapi tidak secara drastis sebagaimana sebelumnya. Titik 4 ini disebut dengan titik kesetimbangan, dimana proses adsorpsi sudah tidak terjadi lagi. Pada kondisi ini adsorben telah melakukan adsorpsi secara optimal dan berada dalam kondisi jenuh karena seluruh permukaannya telah tertutup oleh adsorbat sehingga tidak mungkin melakukan proses adsorpsi lagi.

2.2.4 Kesetimbangan Adsorpsi

Kesetimbangan adsorpsi terjadi bila suatu larutan dikontakkan dengan adsorben padat, dan molekul adsorbat berpindah dari larutan ke padatan sampai konsentrasi adsorbat di larutan dan padatan dalam keadaan setimbang. Data kesetimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada temperatur konstan disebut adsorpsi isotermis (Akbar, 2006). Untuk mengukur kesetimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi adsorbat di larutan pada awal dan kesetimbangan. Ada beberapa jenis persamaan yang dapat digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi secara Isotermal.

2.2.4.1 Adsorpsi Isotermis Freundlich

Adsorpsi Isotermal Freundlich (Sontheimer et al., 1988) dijabarkan sebagai berikut:

$$q = K_f \times C^n \quad (2.5)$$

dengan : q = jumlah *solute* yang teradsorp per gram adsorben

C = konsentrasi larutan setelah diadsorpsi (setelah mencapai kesetimbangan)

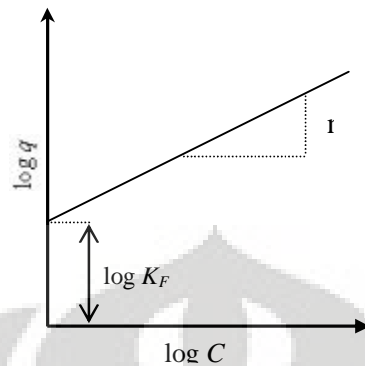
K_f dan n adalah konstanta Freundlich dengan nilai $n > 1$

Jika persamaan (2.1) di atas jika dilogaritmakan akan diperoleh:

$$\log q = \log K_f + n \log C \quad (2.6)$$

Dari persamaan logaritma (2.2) di atas, plot antara logaritma q dan logaritma C dapat dibentuk. Jika plot tersebut sesuai dengan persamaan Freundlich, plot tersebut akan membentuk garis lurus dengan kemiringan n dan perpotongan dengan sumbu y

adalah $\log K_f$. Gambar 2.7 berikut memperlihatkan hasil perhitungan dari konstanta adsorpsi isoteremis Freundlich.



Gambar 2.7 Grafik Isoteremis Freundlich

Pada persamaan isoteremis Freundlich, nilai n dan K_f adalah konstan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi fasa cair akan meningkatkan konsentrasi fasa padat sebanding dengan n dan K_f . Pada kasus dimana konsentrasi fasa padat rendah, konstanta eksponen *Freundlich* (n) akan meningkat secara linier seiring dengan penurunan konsentrasi fasa padat. Jadi persamaan *Freundlich* tidak berlaku pada konsentrasi fasa padat yang rendah.

Pada fasa gas, konsentrasi biasanya dinyatakan dalam persen mol atau tekanan parsial. Pada zat cair, konsentrasi biasanya dinyatakan dalam satuan massa, seperti bagian per sejuta (ppm). Konsentrasi adsorbat pada zat padat dinyatakan sebagai massa teradsorpsi per satuan massa adsorben semula.

2.2.4.2 Adsorpsi Isoteremis Langmuir

Selain persamaan Freundlich di atas, persamaan Langmuir juga dapat digunakan pada proses adsorpsi isoteremis (Sontheimer,1988) :

$$q = q_m \frac{K_L C}{1 + K_L C} \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L C} \quad (2.8)$$

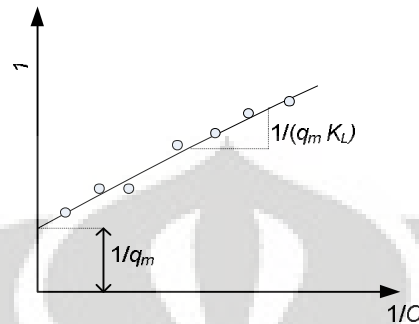
dimana : q = jumlah massa zat teradsorpsi yang teradsorpsi per unit masa adsorben

C = konsentrasi equilibrium dari larutan yang diadsorpsi

K_L = konstanta Langmuir yang berhubungan dengan enthalpi adsorpsi

q_m = jumlah massa adsorbat yang teradsorpsi per gram adsorben untuk membentuk lapisan tunggal (*monolayer*)

Gambar 2.8 menggambarkan grafik Isotermis Langmuir



Gambar 2.8 Grafik Isotermis Langmuir

Persamaan isotermis Langmuir tidak dapat diterapkan untuk semua kondisi adsorpsi, sehingga perlu digunakan beberapa asumsi agar persamaan Langmuir dapat berlaku. Asumsi-asumsi tersebut adalah :

1. Adsorpsi hanya terjadi pada lapisan tunggal molekul yang teradsorpsi pada permukaan adsorben saja.
2. Molekul yang teradsorpsi tidak dapat bergerak bebas atau tidak terjadi migrasi molekul pada lapisan permukaan.
3. Entalpi adsorpsi konstan dan sama untuk setiap molekul.
4. Selain itu, terdapat dua batasan untuk dapat mengaplikasikan persamaan adsorpsi isotermis Langmuir. Batasan tersebut antara lain :

- Untuk fasa cair yang memiliki konsentrasi fasa cair yang rendah, persamaan langmuir menjadi persamaan isotermis linear karena nilai $K_L.C \ll 1$.

$$\lim_{c \rightarrow 0} q = q_m K_L C \quad (2.9)$$

- Untuk fasa cair dengan konsentrasi yang tinggi, $K_L.C \gg 1$, konsentrasi fasa padatnya tidak tergantung pada konsentrasi larutan.

$$\lim_{c \rightarrow \infty} q = q_m \quad (2.10)$$

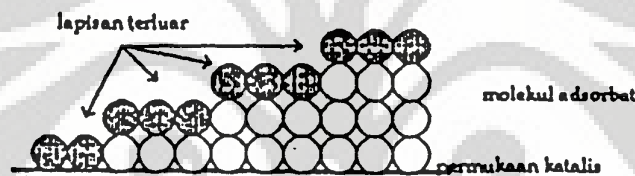
Jika data percobaan sesuai dengan teori Langmuir, plot antara $1/q$ dan $1/C$ akan menghasilkan kurva yang berupa garis lurus. Harga q_m dan konstanta K_L dapat dihitung dari harga perpotongan dengan sumbu-y yaitu $1/q_m$ dan kemiringan $1/(q_m K_L)$.

2.3 UJI KARAKTERISASI DAN ANALISIS SAMPEL

2.3.1 Karakterisasi Luas Permukaan Zeolit dengan Metode BET

Untuk mengetahui luas permukaan zeolit alam klinoptilolit, pada penelitian ini dilakukan karakterisasi dengan menggunakan metode BET. Hal ini sangat bermanfaat untuk mengetahui pengaruh proses perlakuan awal (aktivasi) zeolit terhadap penambahan luas permukaannya.

Metode BET (Brunauer, Emmet dan Teller) didasarkan pada penentuan volume molekul yang teradsorp secara fisika, setebal satu lapisan (monolayer) pada permukaan katalis zeolit (V_m). V_m yang dihitung ini merupakan jumlah volume molekul yang teradsorp pada lapisan terluar. Permukaan zeolit yang sudah tertutup adsorbat diilustrasikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Permukaan Zeolit yang Tertutup Adsorbat

Persamaan BET yang digunakan :

$$\frac{P/P_o}{V(1-P/P_o)} = \frac{1}{cV_m} + \frac{(c-1)P/P_o}{cV_m} \quad (2.11)$$

dengan :

P = tekanan gas saat adsorpsi

P_o = tekanan uap jenuh adsorbat pada temperatur T

V = volume gas teradsorp pada tekanan P

V_m = volume gas teradsorp ketika permukaan tertutup lapisan *multilayer*

c = konstanta yang sesuai dengan persamaan $c = e^{(E_1-E_L)/RT}$

2.3.2 Analisis Kandungan Gas Dengan Metode *Gas Chromatograph*

Proses pemisahan suatu campuran ke dalam komponen-komponennya sangat penting dalam Teknik Kimia. Pada dasarnya Kromatografi didefinisikan oleh para ahli sebagai suatu metode pemisahan campuran secara fisis, dimana komponen-komponen yang akan dipisahkan dua fasanya didistribusikan terlebih dahulu. Pada salah satu fasanya merupakan suatu lapisan stasioner dengan permukaan yang luas dan fasa lainnya berupa zat alir (fluida) yang mengalir secara lambat. Fasa stasioner ini dapat berupa zat padat atau cairan dan fasa geraknya dapat berupa cairan atau gas.

Dalam semua contoh kromatografi yang disajikan pada Tabel 2.5, zat terlarut yang akan dipisahkan akan bermigrasi sepanjang suatu kolom dan pemisahan yang terjadi didasari atas perbedaan laju migrasi untuk zat terlarut yang berlainan.

Tabel 2.5 Tipe Kromatografi

Fasa Stasioner	PADAT		CAIR	
Fasa Gerak	Cair	Gas	Cair	Gas
Contoh	Kromatografi Orisnil Tswett dengan larutan Eter Petroleum dan kolom CaCO_3	Kromatografi gas padat atau GSC	Kromatografi partisi pada kolom silika gel	Kromatografi gas cairan atau GLC
	Kromatografi Pertukaran Ion		Kromatografi kertas	

2.3.3 Analisis Kandungan Tiosulfat Dengan Metode Titrasi Iodometri

Titration merupakan proses pengukuran volume titran yang diperlukan untuk mencapai titik ekuivalensinya. Suatu metode titrasi untuk analisis didasarkan pada reaksi kimia sebagai berikut:



dengan a adalah molekul analit A yang bereaksi dengan t molekul titran sedikit demi sedikit secara inkremental dalam bentuk larutan dengan konsentrasi yang diketahui. Larutan ini disebut larutan standar dan konsentrasinya ditetapkan oleh suatu proses yang disebut standarisasi. Selanjutnya penambahan titran terus dilakukan sampai

telah dilakukan sejumlah T yang secara kimia setara dengan A (sebagai titik ekuivalensi).

Salah satu reaksi kimia yang dapat berperan sebagai dasar untuk penetapan titrimetri adalah pada reaksi Redoks seperti pada reaksi Iod sebagai berikut:



pada reaksi diatas, Iod digunakan sebagai zat pengoksidasi dan ion Iodida digunakan sebagai zat pereduksi (Iodometri). Untuk titrasi Iodometri ini umumnya digunakan senyawa Tiosulfat sebagai zat pereduksi yang cukup kuat.

Untuk larutan standar, umumnya digunakan senyawa Natrium Tiosulfat dalam bentuk hidratnya. Proses analisis ini nantinya juga dapat diaplikasikan pada proses degradasi senyawa sulfur. Larutan Natrium Tiosulfat tidak stabil dalam waktu yang lama yang jika diuraikan dalam larutan asam dapat membentuk belerang:



tetapi reaksi ini lambat dan sebaliknya reaksi antara Iod dan Tiosulfat lebih cepat sehingga Iod akan mengoksidasi Tiosulfat menjadi ion tetrionat sebagai berikut:



2.4 BIOFILTER

Saat ini Biofilter telah banyak digunakan di negara-negara Eropa, Amerika dan Jepang, karena memiliki efektivitas yang tinggi untuk mengolah emisi gas buang dari berbagai industri dengan volume gas yang besar namun mempunyai konsentrasi polutan yang rendah. Selain itu jika dibandingkan dengan metode fisika-kimia konvensional, metode biofilter ini mempunyai kelebihan yaitu biaya investasi dan operasional yang rendah, stabil pada waktu yang relatif lama, dan memiliki daya degradasi gas polutan yang tinggi.

Dalam metode biofilter, pemilihan bahan pengisi sebagai media tempat hidup mikroorganisme yang digunakan merupakan hal sangat penting untuk mendukung kehidupan mikroorganisme yang digunakan (Hirai,et.al, 2001). Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan bahan pengisi biofilter adalah sebagai berikut (Anit dan Artuz, 2004):

1. Kemampuan menyerap air untuk menjaga kelembaban lapisan *biofilm*.

2. Porositas dan luas permukaan yang besar, baik untuk adsorpsi kontaminan maupun untuk pertumbuhan mikroba.
3. Kemampuan untuk menyerap nutrisi dan menyuplainya ketika dibutuhkan oleh mikroba.
4. Kemampuan menahan aliran udara (jatuh tekanan udara dan kekuatan angin yang dikeluarkan blower).
5. Material yang digunakan.
6. Karakteristik fisik, seperti kestabilan fisik dan mudah dalam penanganan.

Kinerja sistem biofilter dapat dinilai berdasarkan beberapa hal berikut (Wahyuni, 2004) :

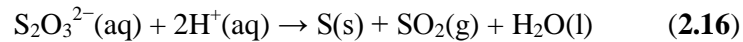
1. Laju atau kapasitas degradasi maksimum (g/kg-media kering/hari).
2. Kecepatan tercapainya kondisi aklimatisasi mikroba. Parameter ini akan menunjukkan kinerja dari bioavailabilitas konsorsium mikroba yang dikembangkan untuk mendegradasi gas polutan. Semakin cepat masa adaptasi mikroba (*log phase*), maka kinerja biofilter akan semakin baik.
3. Kemampuan mempertahankan rasio degradasi gas (efisiensi degradasi) dalam waktu yang lama. Rasio degradasi polutan gas dari biofilter umumnya di atas 95 % dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang relatif lama.
4. Kemampuan bahan pengisi dalam mempertahankan kondisi pH, temperatur dan kadar air. Kemampuan ini menggambarkan kinerja biofilter terhadap fluktuasi beban polutan gas yang tinggi, kurangnya humidifikasi dan masa tidak terpakainya biofilter akibat fluktuasi proses produksi pada industri.

2.5 SENYAWA SULFUR & MIKROBA PENDEGRADASI SENYAWA SULFUR

2.5.1 Senyawa Sulfur dalam Natrium Tiosulfat

Senyawa Natrium Tiosulfat merupakan suatu padatan berbentuk kristal yang tidak berwarna yang berada dalam bentuk hidratnya. Anion Tiosulfat ($S_2O_3^{2-}$) berbentuk tetrahedral yang terdiri dari adanya atom Oksigen dan Sulfur sebagai penyusunnya.

Karena senyawa ini memiliki unsur penyusun sulfur maka senyawa ini sangat berbahaya jika anion Tiosulfatnya bereaksi dengan asam karena dapat membentuk sulfur dan Sulfur Dioksida yang bersifat polutan seperti reaksi berikut:



Selain membahayakan, senyawa ini juga dapat dimanfaatkan antara lain:

1. Sebagai pemutih
2. Untuk deklorinasi air dalam akuarium
3. Sebagai uji keasaman (*pH test*) pada *bleach substance*
4. Pada dunia farmasi untuk pembuatan surfaktan anionik

2.5.2 Mikroba Pendegradasi Sulfur

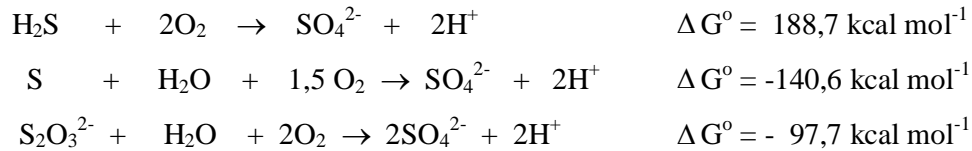
Kemampuan biodegradasi dari mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh kandungan air (*water content*) dari medium. Hal tersebut juga akan mempengaruhi umur manfaat biofilter. Selama proses biofiltrasi, kandungan air dalam medium akan berkurang akibat reaksi eksotermis H_2S dan NH_3 oleh mikroorganisme. Kandungan air optimum pada bahan pengisi biofilter adalah antara 20 – 60 %. Aktivitas biologis akan berhenti jika kandungan air kurang dari 20 %. Sebaliknya, kandungan air yang melebihi 85 % akan membentuk zona anaerobik yang akan mengurangi jumlah oksigen untuk bio-oksidasi (McNavin dan Badford, 2000).

Kelompok bakteri yang dapat mengoksidasi sulfur untuk menghasilkan energi disebut dengan bakteri sulfur (*sulphur bacteria*). Bakteri sulfur dapat menyimpan atau menggunakan sulfur elemental atau komponen organik sulfur untuk metabolisme selnya.

Bakteri pereduksi sulfur dapat ditemukan hampir di semua lingkungan di bumi, seperti di tanah, air tawar, air laut, air payau, sumber air panas, daerah geotermal, sumur minyak dan gas, rumina kambing dan usus serangga (Postage, 1984 dan Denny, 2004). Bakteri pereduksi sulfur dapat beradaptasi dalam kisaran temperatur $-5\text{ }^\circ\text{C}$ sampai $75\text{ }^\circ\text{C}$, dapat tumbuh dalam air pada tekanan 10^5 kPa , dan mampu bertahan pada pH sedikit di bawah 5 sampai 9,5 serta mampu beradaptasi pada kondisi osmotik dengan kisaran yang luas. Bakteri ini juga dapat mentolerir salinitas sampai dengan 18 % (Denny, 2004).

Beberapa dari bakteri sulfur ini mengoksidasi hidrogen sulfida (H_2S) untuk membentuk sulfur elemental (S^0) sedangkan bakteri yang lain dapat mengoksidasi

sulfur elemental menjadi asam sulfat (H₂SO₄). Secara garis besar bakteri sulfur ini terbagi menjadi bakteri sulfur aerobik dan anaerobik. Reaksi oksidasi oleh bakteri aerobik pada kondisi standar adalah sebagai berikut (Joong Oh, et.al., 1998) :



Bakteri sulfur aerobik yang diketahui dapat mengoksidasi hidrogen sulfida adalah *Thiobacillus*, *Pseudomonas*, *Thiotrix* dan *Beggiatoa*. Di antara semua jenis bakteri tersebut, spesies *Thiobacillus* merupakan yang paling banyak digunakan untuk eksperimen skala lab. Bakteri *Thiobacillus sp.* termasuk ke dalam famili *Thiobacteriaceae*. Selnya berbentuk batang berukuran panjang 1,0 – 3,0 μm , Gram negatif. Bakteri ini bersifat mobil dengan flagel polar. Suhu pertumbuhan *Thiobacillus sp.* adalah antara 25 – 30 °C, dengan suhu optimum 28 °C. Sedangkan pH pertumbuhan adalah antara 4,5 – 7,8 dengan kisaran pH optimum antara 6,6 – 7,2 (Ballows, et.al., 1991).

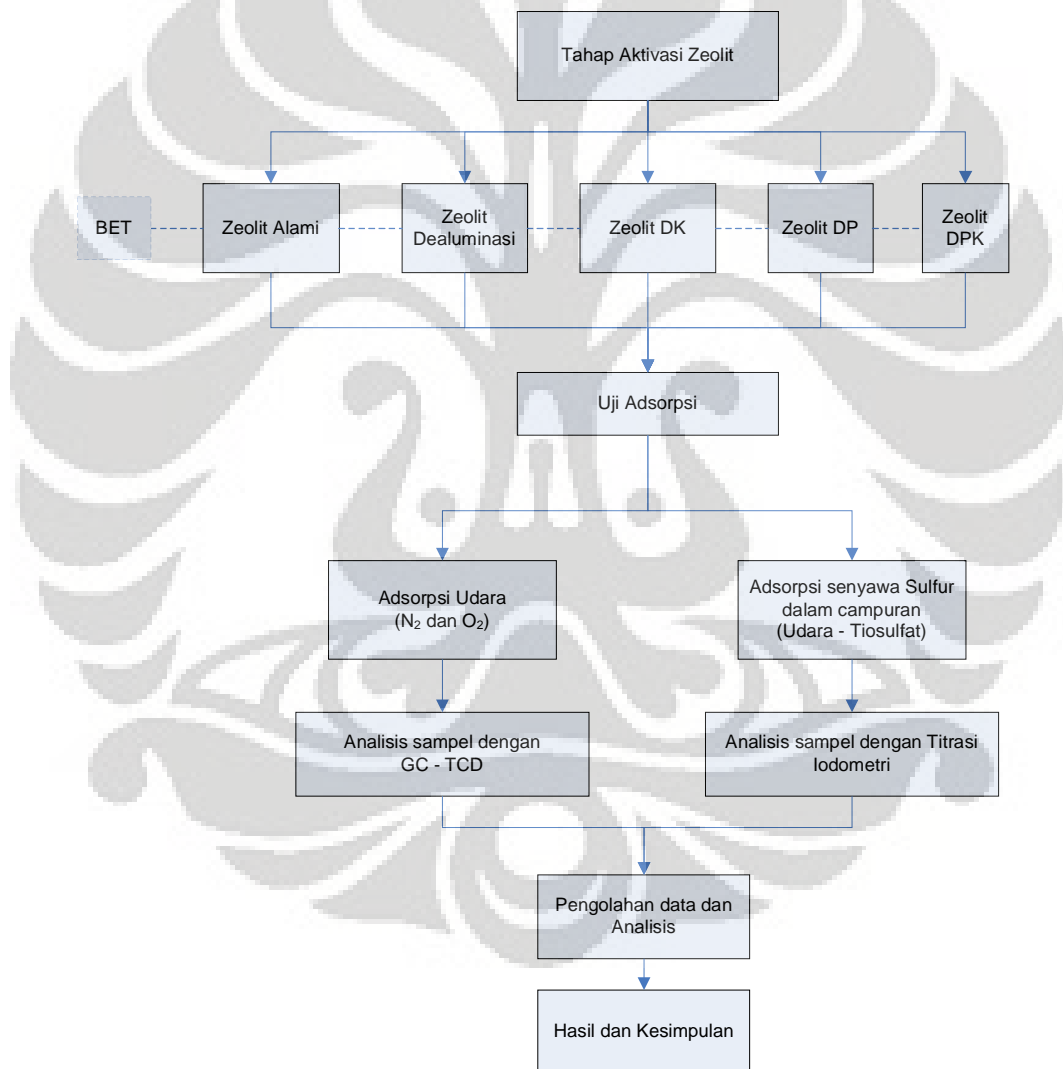
Pada lingkungan dengan tingkat oksigen yang rendah, *Thiobacillus sp.* berperan mengubah sulfida menjadi sulfur elemental. Untuk pertumbuhan bakteri *Thiobacillus sp.*, media yang baik adalah media yang mengandung senyawa-senyawa seperti (NH₄)₂SO₄ sebagai sumber nitrogen, MgSO₄.7H₂O sebagai sumber magnesium, FeCl₃.6H₂O dan CaCl₂ sebagai sumber besi dan kalsium, serta KH₂PO₄ sebagai sumber fosfor dan sebagai buffer untuk menjaga pH (Irawan, 2005).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PROSES PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan berdasarkan diagram alir proses yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut. Penjelasan yang lebih mendetail untuk tiap langkah dapat dilihat pada prosedur penelitian.



Gambar 3.10 Diagram Alir Proses Penelitian

3.2 ALAT DAN BAHAN

Penelitian dilakukan di beberapa Laboratorium Departemen Teknik Kimia yang meliputi Laboratorium Separasi, Laboratorium TEL dan DPK, Laboratorium Bioproses, serta Laboratorium RPKA. Semua peralatan di bawah ini diperoleh dari Laboratorium DPK kecuali yang disebutkan kemudian

Peralatan yang dipakai dalam penelitian antara lain:

- Saringan (Mesh) berukuran 1,7 mm
- Beaker glass 250 ml (2 buah)
- Pipet Tetes plastik 10 ml (2 buah)
- Alu dan Lumpang (masing-masing 1 buah)
- Pengaduk listrik yang terdapat di Laboratorium TEL
- Timbangan digital (300 gram)
- Sendok plastik
- Cawan Penguap
- Oven yang terdapat di Laboratorium TEL
- Wadah plastik
- Furnace yang terdapat di Laboratorium RPKA
- Botol sampel untuk uji BET dari Laboratorium RPKA
- Desikator yang terdapat di Laboratorium TEL
- Rangkaian Kolom Biofilter (Laboratorium Separasi)
- Syringe yang terdapat di Laboratorium RPKA untuk pengujian sampel adsorpsi udara
- Peralatan Kolom GC-TCD yang terdapat di Laboratorium RPKA untuk pengujian sampel adsorpsi udara dimana kolom yang digunakan adalah kolom aktif karbon dengan suhu injector 130 C dan suhu kolom 50 C.
- Peralatan BET Autosorb + Printer untuk uji luas permukaan zeolit yang terdapat di Laboratorium RPKA
- Buret dan statip (2 buah) untuk uji sampel Tiosulfat dengan metode Titrasi Iodometri

Sedangkan keseluruhan bahan yang dipakai untuk penelitian kali ini adalah:

- Zeolit alam dari Lampung diperoleh dari Laboratorium DPK

- Larutan HF 40 % dari Laboratorium DPK
- Larutan Ammonium Nitrat (NH_4NO_3) 0,1 N dari Laboratorium DPK
- Air Reverse Osmosis dari Laboratorium Bioproses
- Udara berupa campuran N_2 dan O_2 yang berasal dari kompresor
- Larutan Natrium Tiosulfat 1 M dari Laboratorium DPK sebagai medium (sampel)
- Larutan Natrium Tiosulfat 0,025 N dari Laboratorium DPK sebagai titran
- Larutan Iodine 0,025 N dari Laboratorium DPK sebagai titran
- HCl 6 M dari Laboratorium DPK
- Larutan trapper yang terdiri dari (10 ml Iodine 0,025 N + 10 ml Air RO + 2 ml HCl 6 M)
- Larutan kanji dari Laboratorium DPK sebagai indikator

3.3 PROSEDUR PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan lima macam sampel zeolit yaitu:

3. Blank Zeolit (Zeolit alami)
4. Zeolit Dealuminasi
5. Zeolit Dealuminasi + Kalsinasi (Zeolit DK)
6. Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion (Zeolit DP)
7. Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion + Kalsinasi (Zeolit DPK)

Seluruh tahapan aktivasi dilakukan guna mengetahui kinerja daya adsorpsi zeolit yang terbaik dalam mengadsorp senyawa sulfur. Langkah-langkah yang dilakukan dalam seluruh tahapan sebagian diadaptasi dari penelitian terdahulu yang sudah dilakukan oleh Rifky (1996) dan Eddy Suhendra (1997).

3.3.1 Pembuatan Zeolit Alami

Tahapan pembuatan Zeolit alami sebagai sampel pertama memiliki langkah-langkah sebagai berikut:

1. Zeolit alam murni yang masih memiliki dimensi heterogen (belum seragam) terlebih dahulu ditumbuk dengan alu dan lumpang. Selanjutnya disaring

- dengan menggunakan saringan (mesh) hingga diperoleh zeolit dengan ukuran diameter seragam yaitu 1,7 mm.
2. Selanjutnya zeolit ini diambil dan ditimbang sebanyak $\pm 176 - 200$ gram atau sampai memiliki tinggi bed sebesar ± 12 cm pada kolom.
 3. Memanaskan (Pre kalsinasi) dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam untuk menghilangkan kadar airnya.
 4. Menyimpan sampel dalam desikator.
 5. Mengambil $\pm 0,5$ gram zeolit untuk dikarakterisasi dalam BET Autosorb *Apparatus* untuk mendapatkan properti fisik dan kimianya.

3.3.2 Pembuatan Zeolit Dealuminasi

Tahapan pembuatan zeolit Dealuminasi sebagai sampel kedua memiliki langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengambil 1200 gram zeolit alam murni dengan ukuran diameter homogen (1,7 mm) yang sudah kering.
2. Selanjutnya zeolit ini direndam dalam larutan HF 3 % dengan volume 100 ml untuk setiap 50 gram zeolit, sehingga untuk 1200 gram zeolit volume total larutan HF 3 % yang dibutuhkan sebesar 2400 ml.
3. Mengencerkan larutan HF 40 % menjadi 3 % dengan volume larutan akhir 2400 ml yang memerlukan 180 ml HF 40 % (dari hasil perhitungan pengenceran).
4. Selama sampel direndam, diaduk dengan stirrer selama 20 menit dengan kecepatan 450 RPM pada suhu ruang.
5. Setelah itu disaring dan dibilas sebanyak dua kali, lalu dikeringkan dalam oven (tahap pre kalsinasi) selama 2 jam pada suhu 110°C .
6. Menyimpan sampel dalam desikator atau dalam tempat yang tertutup rapat untuk menghindari adanya uap air yang masuk dalam pori-pori zeolit tersebut.
7. Mengambil $\pm 0,5$ gram sampel zeolit ini untuk dikarakterisasi dalam BET Autosorb *Apparatus* untuk mendapatkan properti fisik dan kimianya.

3.3.3 Pembuatan Zeolit Dealuminasi + Kalsinasi (Zeolit DK)

Tahapan pembuatan zeolit Dealuminasi + kalsinasi sebagai sampel ketiga memiliki langkah-langkah sebagai berikut:

1. Dari sampel zeolit yang sudah didealuminasi sebelumnya, diambil 200 gram untuk selanjutnya dikalsinasi dalam furnace (tungku udara) pada suhu 530 °C selama 5 jam (sampel diletakkan pada cawan penguap).
2. Setelah dikalsinasi, sampel ini selanjutnya didinginkan terlebih dahulu dan disimpan dalam desikator atau dalam tempat yang tertutup rapat untuk menghindari adanya uap air yang masuk dala pori-pori zeolit tersebut.
3. Mengambil $\pm 0,5$ gram sampel zeolit ini untuk dikarakterisasi dalam BET Autosorb *Apparatus* untuk mendapatkan properti fisik dan kimianya.

3.3.4 Pembuatan Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion (Zeolit DP)

Tahapan pembuatan zeolit Dealuminasi + pertukaran ion sebagai sampel keempat memiliki langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengambil sampel zeolit yang sebelumnya sudah didealuminasi sebanyak 400 gram untuk selanjutnya diaktivasi dengan pertukaran ion.
2. 400 gram sampel ini selanjutnya dicampurkan dengan larutan NH_4NO_3 0,1 N sebanyak 12000 ml dalam wadah plastik.
3. Untuk membentuk larutan NH_4NO_3 0,1 N maka diperlukan padatan NH_4NO_3 sebanyak 8 gram (perhitungan dijelaskan pada lampiran).
4. Sesudah dicampurkan selanjutnya dilakukan pengadukan dengan stirrer pada suhu kamar selama 2 jam dengan kecepatan 450 RPM.
5. Setelah selesai pengadukan sampel disaring dan dibilas dengan air RO (*Reverse Osmosis*) sampai 4 kali atau sampai air sudah tidak keruh lagi.
6. Hasil penyaringan selanjutnya diletakkan pada cawan penguap dan dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada suhu 110 °C.
7. Sampel yang sudah kering ini disimpan dalam desikator atau dalam tempat yang tertutup rapat untuk menghindari adanya uap air yang masuk dalam pori-pori zeolit tersebut.
8. Mengambil $\pm 0,5$ gram sampel zeolit ini untuk dikarakterisasi dalam BET Autosorb *Apparatus* untuk mendapatkan properti fisik dan kimianya.

3.3.5 Pembuatan Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion + Kalsinasi (Zeolit DPK)

Tahapan pembuatan zeolit Dealuminasi + Pertukaran ion + kalsinasi sebagai sampel kelima memiliki langkah-langkah sebagai berikut:

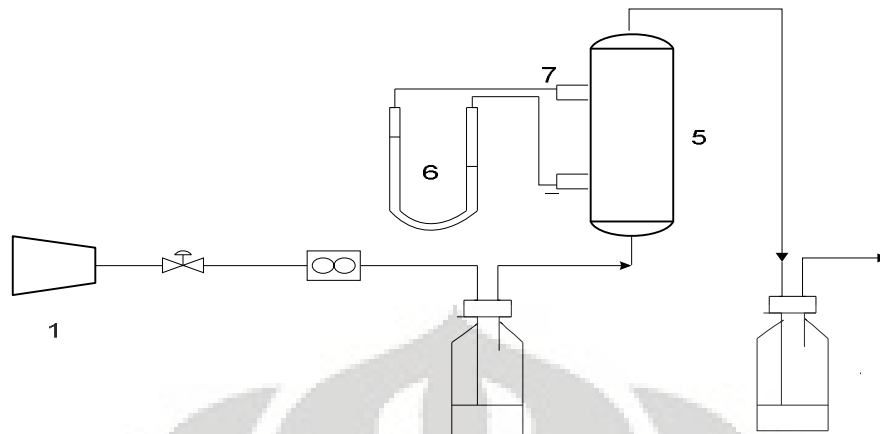
1. Mengambil 200 gram sampel zeolit yang sudah didealuminasi dan sudah mengalami pertukaran ion untuk selanjutnya dikalsinasi dalam furnace (tungku udara) pada suhu 530°C selama 5 jam (sampel diletakkan pada cawan penguap).
2. Setelah dikalsinasi, sampel ini selanjutnya didinginkan terlebih dahulu dan disimpan dalam desikator atau dalam tempat yang tertutup rapat untuk menghindari adanya uap air yang masuk dalam pori-pori zeolit tersebut.
3. Mengambil $\pm 0,5$ gram sampel zeolit ini untuk dikarakterisasi dalam BET Autosorb *Apparatus* untuk mendapatkan properti fisik dan kimianya.

3.3.6 Karakterisasi Luas Permukaan dengan BET

1. Mengambil salah satu sampel zeolit yang ada, kemudian menimbang dengan berat $\pm 0,5$ gram pada tabung sampel setelah sebelumnya dibersihkan terlebih dahulu.
2. Mencatat berat wadah kosong tabung sampel dan berat sampel.
3. Selanjutnya memberi label pada sampel untuk diuji BET menggunakan BET Autosorb.
4. Melakukan hal yang sama untuk semua sampel zeolit yang diperoleh.
5. Mencetak hasil karakterisasi BET (hasil karakterisasi dengan BET Autosorb ini dapat diambil sehari setelah penyerahan sampel ke laboran).

3.3.7 Uji Adsorpsi udara dan Analisa GC-TCD

1. Mengambil dan menimbang sampel blank zeolit sebanyak ± 200 gram lalu dimasukkan dalam kolom biofilter (hingga tinggi packing yang diperoleh sebesar ± 12 cm dari dasar kolom).
2. Merangkai peralatan seperti Gambar 3.2 dibawah:



Gambar 3.11 Skema alat kolom adsorpsi skala laboratorium

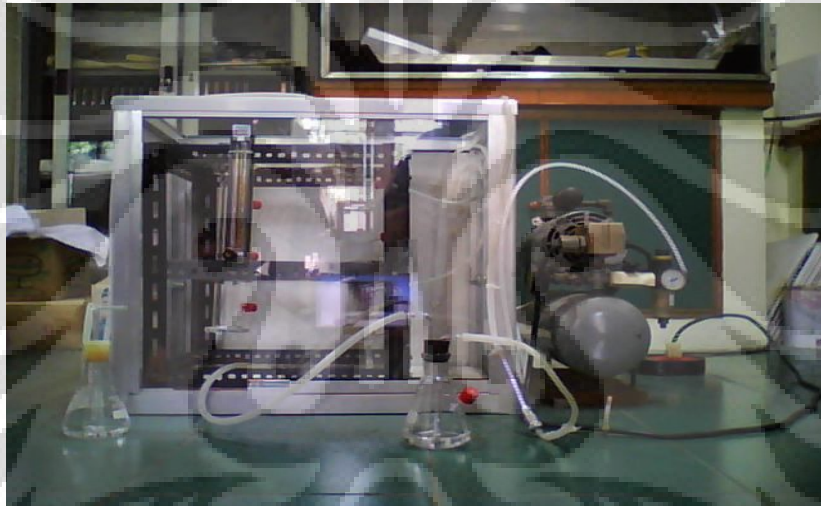
Dengan spesifikasi tiap nomor sebagai berikut:

1. Kompresor Udara
2. *Check Valve*
3. Flowmeter
4. *Bubbler sampling*
5. Kolom Biofilter
6. Manometer
7. Septum
8. Gas keluaran

3. Karena flowmeter yang digunakan tak mampu untuk menunjukkan kinerja yang bagus pada tekanan kompresor, maka pada kenyataannya keluaran kompresor langsung dihubungkan dengan dasar kolom melalui sebuah check valve untuk mencegah aliran balik sehingga penunjukan skala tekanan pada kompresor dapat stabil.
4. Selanjutnya kompresor dinyalakan dan laju alir udaranya diatur pada angka 50 ml/s dari hasil kalibrasi laju alir udara vs tekanan kompresor (dijelaskan pada Lampiran A).
5. Proses adsorpsi ini merupakan proses kontinu sehingga waktu operasi merupakan variabel bebas yang terdapat di dalamnya.
6. Pengambilan data setiap sampel dilakukan 15 menit sekali dengan menginjeksi syringe ke dalam bubbler. Untuk data pertama sampel udara diperoleh dengan menginjeksikan syringe ke bubbler masukan dan keluaran kolom, untuk data

kedua dan seterusnya sampel diperoleh dengan menginjeksikan syringe dalam bubbler output.

7. Menginjeksikan semua sampel udara dalam syringe ke kolom GC-TCD sesuai waktu operasi yang ada.
8. Data yang diperoleh dari GC-TCD berupa luas area puncak N_2 dan O_2 untuk selanjutnya dikalibrasi untuk mendapatkan data konsentrasi input dan output N_2 dan O_2 dari dan keluar kolom adsorpsi.
9. Pengambilan data dilakukan sampai diperoleh luas area puncak yang sama atau sampai perubahan area puncak ini sudah tidak signifikan lagi.
10. Melakukan langkah yang sama untuk semua sampel zeolit yang sudah diaktivasi.
11. Alat uji adsorpsi udara digambarkan pada Gambar 3.3

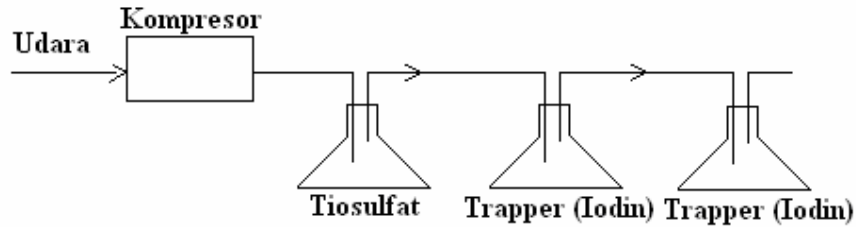


Gambar 3.12 Gambar alat uji adsorpsi Udara

3.3.8 Kalibrasi Senyawa Tiosulfat

Tahap kalibrasi kandungan Sulfur dalam senyawa Natrium Tiosulfat dilakukan dengan variasi konsentrasi larutan Tiosulfat yaitu:

1. Menghubungkan kompresor dari dan ke bubbler seperti pada Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.13 Skema peralatan uji kalibrasi senyawa sulfur

2. Membuat empat macam variasi konsentrasi Natrium Tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) yaitu 1 ; 0,5 ; 0,25 ; 0,125 ; 0,05 (dalam satuan molaritas) dengan jumlah volume larutan yang sama sebesar 125 ml.
3. Mengkontakkan tiap larutan sampel tersebut ke dalam larutan trapper. Ketika senyawa sulfur dari Tiosulfat terperangkap dalam larutan trapper, maka setelah beberapa saat larutan trapper akan mengalami perubahan warna dari coklat tua hingga menjadi bening. Ketika perubahan warna terjadi selanjutnya trapper dititrasi dengan Iodin 0,025 N sampai kembali ke warna semula dan mencatat volume yang dibutuhkan oleh titran tersebut untuk mengubah warna larutan trapper.
4. Memberikan 3 tetes larutan kanji dan mentitrasi kembali dengan Natrium Tiosulfat 0,025 N sampai larutan berwarna bening dan mencatat volume yang dibutuhkan titran tersebut untuk mengubah warna larutan trapper.
5. Menghitung konsentrasi Tiosulfat yang teruapkan dari larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dengan metode Titration Iodometri, dengan rumus:

$$\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{ (mg/L)} = \frac{(A \times B) - (C \times D) \times 1,12 \cdot 10^5}{\text{ml sampel}} \quad (3.1)$$

Dengan:

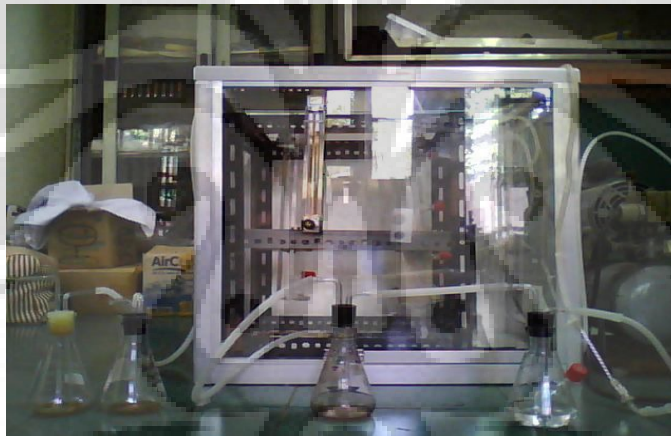
A=	Volume Iodine yg terpakai (ml)
B=	Normalitas larutan Iodin
C=	Volume Tiosulfat yg terpakai (ml)
D=	Normalitas larutan Tiosulfat

6. Memplot konsentrasi Tiosulfat yang teruapkan terhadap konsentrasi Tiosulfat masukan sebagai y vs x.

3.3.9 Uji Adsorpsi Tiosulfat

1. Merangkai dan menghubungkan alat seperti pada gambar Gambar 3.5 dibawah dengan spesifikasi:

- ♦ Kompresor
- ♦ Reaktor *lab scale* untuk proses adsorpsi
- ♦ Pipa dan selang Silikon
- ♦ Check valve untuk mencegah aliran balik (*Back Flow*) sehingga laju alir substrat yang masuk ke kolom dari kompresor akan lebih stabil
- ♦ Manometer
- ♦ Bubbler tertutup berupa erlenmeyer 250 ml sebagai medium larutan sampel Tiosulfat dan sebagai medium larutan trapper
- ♦ sebuah splitter aliran berbentuk Y



Gambar 3.14 Gambar alat uji adsorpsi Sulfur dalam Natrium Tiosulfat

2. Mengambil dan memasukkan sampel zeolit pertama (zeolit murni) dalam kolom Biofilter hingga diperoleh ketinggian *packing* ± 12 cm.
3. Mengatur tekanan inlet udara pada kompresor sebesar 0,3 bar (dikondisikan supaya tak terjadi turbulensi aliran).
4. Larutan sampel Natrium Tiosulfat dikondisikan pada konsentrasi 1 M dengan volume 125 ml (hasil optimal yang diperoleh dari kalibrasi awal).
5. Membuat 3 macam larutan trapper dengan spesifikasi yang sama (spesifikasi terdapat pada penjelasan mengenai alat dan bahan), dengan ketentuan larutan pertama adalah larutan masukan kolom yang berisi campuran udara – Tiosulfat yang akan diadsorpsi oleh zeolit, dan larutan kedua dan ketiga

merupakan larutan trapper keluaran kolom yang displitter oleh splitter berbentuk Y.

6. Langkah uji titrasi dilakukan dengan tahapan yang sama seperti pada uji kalibrasi yang sudah dijelaskan sebelumnya untuk ketiga larutan trapper yang ada baik di masukan maupun keluaran kolom dengan waktu pengambilan data setiap 30 menit.
7. Pengambilan data dilakukan hingga laju adsorpsi sudah konstan yang ditunjukkan oleh konsentrasi Tiosulfat keluaran kolom yang sudah menunjukkan hasil konstan (konsentrasi keluaran kolom ini merupakan konsentrasi rata-rata dari larutan trapper keluaran I dan II).
8. Memplot hasil adsorpsi blank zeolit yang dinyatakan dengan plot C/C_0 (konsentrasi keluaran berbanding konsentrasi masukan sampel) vs waktu operasi sebagai plot y vs x.
9. Melakukan langkah yang sama untuk semua sampel zeolit yang sudah diaktivasi.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan dua macam pengujian adsorpsi zeolit alam lampung, yaitu pengujian dengan adsorbat berupa udara murni dan senyawa sulfur (digunakan senyawa Natrium Tiosulfat). Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kinerja zeolit alam lampung dalam mengadsorp kandungan Sulfur dalam senyawa Natrium Tiosulfat, dimana uji adsorpsi udara perlu dilakukan terlebih dahulu karena komposisi udara sebagai *carrier gas* lebih besar dari komposisi sulfur.

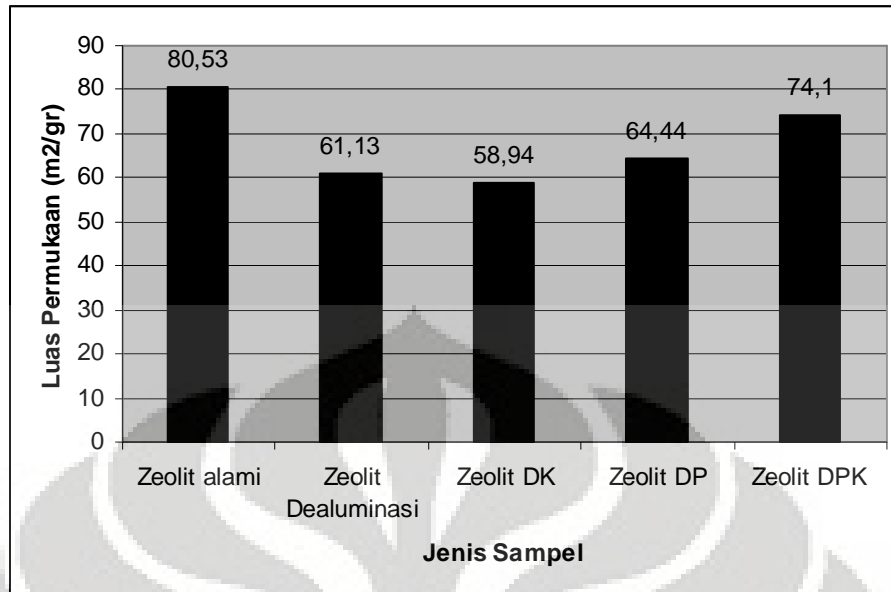
Pengujian adsorpsi, baik untuk uji adsorpsi udara dan uji adsorpsi Tiosulfat dilakukan dengan variasi perlakuan awal zeolit alam lampung yang terdiri dari lima variasi perlakuan awal sampel yaitu:

1. Blank Zeolit (Zeolit murni)
2. Zeolit Dealuminasi
3. Zeolit Dealuminasi + Kalsinasi (Zeolit DK)
4. Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion (Zeolit DP)
5. Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion + Kalsinasi (Zeolit DPK)

dimana waktu operasi penelitian merupakan variabel bebas. Selanjutnya sampel-sampel ini dikarakterisasi semuanya guna mengetahui luas permukaan sampel dengan uji BET. Luas permukaan inilah yang menjadi parameter utama dalam menentukan kinerja tiap sampel zeolit dalam mengadsorp substrat, walaupun masih banyak faktor lain yang dapat mempengaruhi kinerja adsorpsi seperti konsentrasi adsorbat, diameter molekul adsorbat, kepolaran adsorbat, dan sebagainya.

4.1 KARAKTERISASI LUAS PERMUKAAN

Hasil analisis dengan alat BET Autosorb di laboratorium RPKA, memberikan data berupa luas permukaan, ukuran volume pori, serta jari-jari pori yang ditunjukkan pada tabel dalam Lampiran B, dan dapat diringkas melalui Gambar 4.1 yang menunjukkan hubungan antara pengaruh aktivasi pada luas permukaan zeolit.



Gambar 4.15 Pengaruh aktivasi pada luas permukaan ZAL

Dari gambar diatas terlihat bahwa luas permukaan terbesar diperoleh pada zeolit alami, hal ini mengindikasikan bahwa aktivasi Dealuminasi yang dilakukan terlebih dahulu sebelum aktivasi lainnya, ternyata merusak struktur Alumina dan Silika dari zeolit yang dapat memperkecil luas permukaannya. Penyebabnya adalah penggunaan Asam Florida dengan konsentrasi yang cukup besar (3 %), seharusnya konsentrasi Asam Florida yang digunakan cukup sekitar 0,5 – 1 %. Selain itu, pada Zeolit DK terlihat bahwa luas permukaannya paling kecil. Hal ini disebabkan karena suhu proses Kalsinasi yang dilakukan sangat besar (530 °C). Seharusnya untuk jenis zeolit Alam Lampung, suhu optimal pada proses Kalsinasinya cukup pada *range* 420 – 475 °C serta proses pre kalsinasi yang dilakukan juga cukup sekitar 140 °C. Tetapi secara umum dari Gambar 4.1 terlihat bahwa dengan adanya proses pertukaran ion yang dilakukan akan dihasilkan luas permukaan yang makin meningkat.

Dari hasil analisis ini diperoleh nilai volume pori dan diameter pori yang hasilnya hanya dimanfaatkan secara kualitatif saja, dari tabel terlihat bahwa ukuran volume pori untuk semua perlakuan zeolit yang dilakukan tidak menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan.

Tabel 4.6 Pengaruh aktivasi terhadap Diameter dan volume pori

Parameter	Zeolit Alami	Zeolit Dealuminasi	Zeolit Dealuminasi + Kalsinasi	Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion	Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion + Kalsinasi
Ukuran Volume Pori (Dengan metode 'DR Micro Pore Volume')	0,02528 cm³/gr	0,02092 cm³/gr	0,0187 cm³/gr	0,0228 cm³/gr	0,02336 cm³/gr
Ukuran Diameter Pori (Dengan metode 'DR Micro Pore Width')	97,18 A⁰ = 9,718 nm	69,64 A⁰ = 6,964 nm	98,73 A⁰ = 9,873 nm	94,01 A⁰ = 9,401 nm	102,3 A⁰ = 10,23 nm

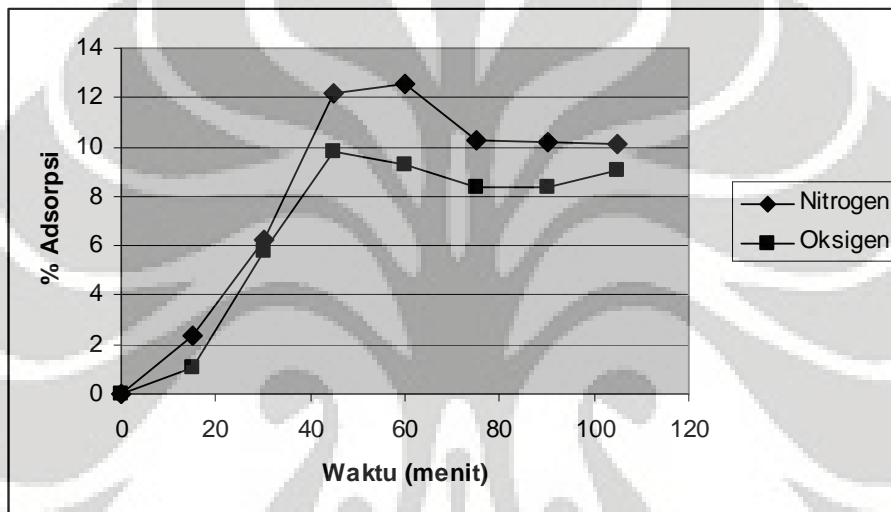
4.2 UJI ADSORPSI UDARA DENGAN ANALISIS GC-TCD

Uji adsorpsi udara dilakukan sebagai referensi awal sebelum uji adsorpsi sulfur dalam senyawa Natrium Tiosulfat. Pada uji adsorpsi udara ini, analisis dilakukan dengan bantuan alat GC-TCD dengan kolom udara dan Helium sebagai *carrier gas* pada laboratorium RPKA. Udara yang digunakan ini adalah udara bertekanan dari kompresor yang diasumsikan udara murni yang mendekati gas ideal dengan kandungan terbesar merupakan senyawa Nitrogen dan Oksigen. Pada pengujian GC ini waktu tiap pengambilan data adalah tiap 15 menit.

A. *Adsorpsi udara oleh zeolit alami*

Dari hasil analisis GC, data yang diperoleh berupa luas area puncak senyawa Nitrogen dan Oksigen dengan terlebih dahulu dilakukan suatu kalibrasi antara volume gas dan luas area puncak (perhitungan dijelaskan pada Lampiran C). Dari hasil kalibrasi tersebut dapat diperoleh hubungan rasio konsentrasi gas keluaran kolom dengan konsentrasi gas masukan kolom yang dinyatakan dengan % Adsorpsi. % Adsorpsi inilah yang menunjukkan kapasitas adsorpsi dari zeolit itu.

Hasil adsorpsi N₂ dan O₂ untuk zeolit alami digambarkan pada Gambar 4.2 berikut:

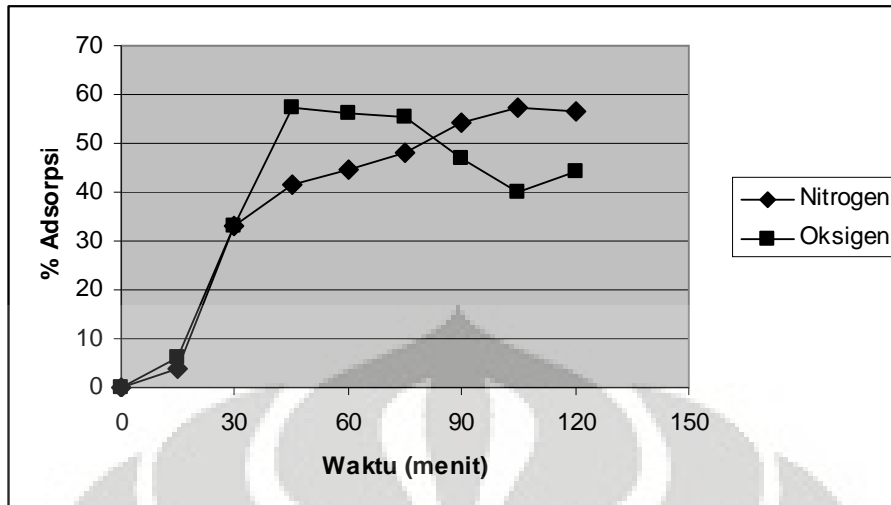


Gambar 4.16 Adsorpsi N₂ dan O₂ untuk Zeolit alami

Dari Gambar 4.2 diatas terlihat bahwa adsorpsi Nitrogen lebih besar dibandingkan pada adsorpsi Oksigen. Hal ini dibuktikan dengan persentase adsorpsi Nitrogen mendekati 13 % sedangkan Oksigen hanya sekitar 10 %.

B. *Adsorpsi udara oleh zeolit Dealuminasi*

Hasil adsorpsi N₂ dan O₂ untuk zeolit Dealuminasi digambarkan pada Gambar 4.3 berikut:

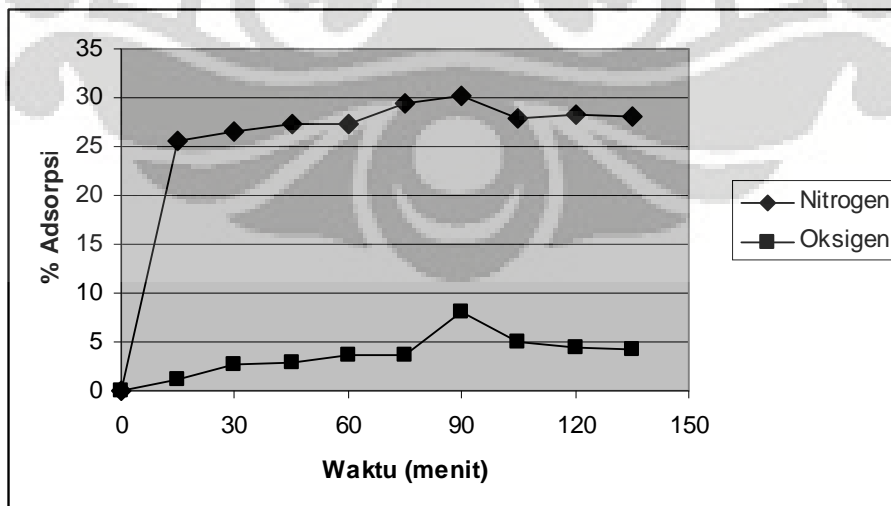


Gambar 4.17 Adsorpsi N₂ dan O₂ untuk Zeolit Dealuminasi

Dari Gambar 4.3 diatas terlihat bahwa persentase adsorpsi Nitrogen dan Oksigen lebih besar daripada zeolit alami yaitu mendekati 60 %, tetapi dari gambar terlihat bahwa pada adsorpsi Oksigen setelah menit ke 45, ternyata sudah mengalami kejenuhan yang ditunjukkan dengan bentuk kurva yang kembali menanjak akibat konsentrasi keluaran yang mulai kembali ke nilai awal. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit ini lebih efektif dalam mengadsorp Nitrogen daripada Oksigen.

C. *Adsorpsi udara oleh zeolit DK*

Hasil adsorpsi N₂ dan O₂ untuk zeolit DK digambarkan pada Gambar 4.4 berikut:

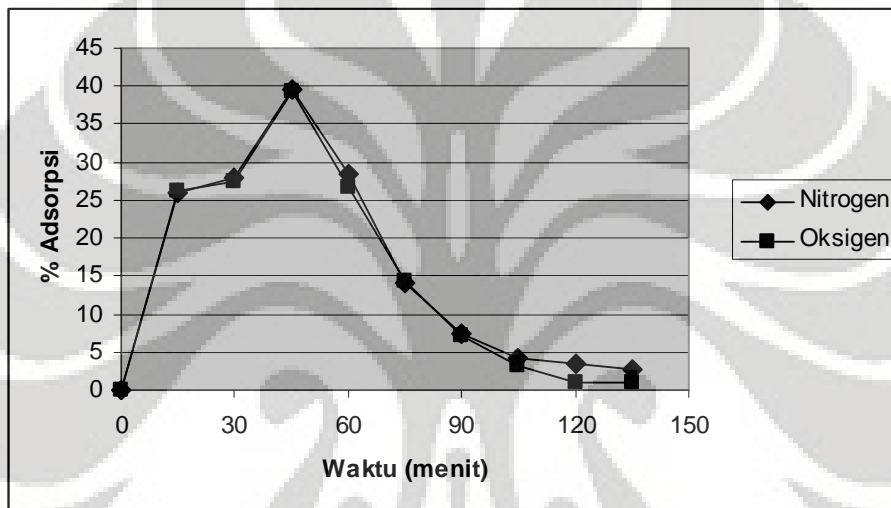


Gambar 4.18 Adsorpsi N₂ dan O₂ untuk Zeolit DK

Dari Gambar 4.4 diatas terlihat bahwa persentase adsorpsi Nitrogen naik tiba-tiba setelah 20 menit hingga sampai sekitar 30 % tetapi kemudian laju adsorpsi langsung jenuh yang ditunjukkan oleh keadaan kurva yang hampir konstan, sedangkan Oksigen yang teradsorp hanya sampai sekitar 8 % saja. Ini menunjukkan bahwa zeolit DK hanya efektif untuk mengadsorp Nitrogen dalam udara.

D. *Adsorpsi udara oleh zeolit DP*

Hasil adsorpsi N₂ dan O₂ untuk zeolit DP digambarkan pada Gambar 4.5 berikut:

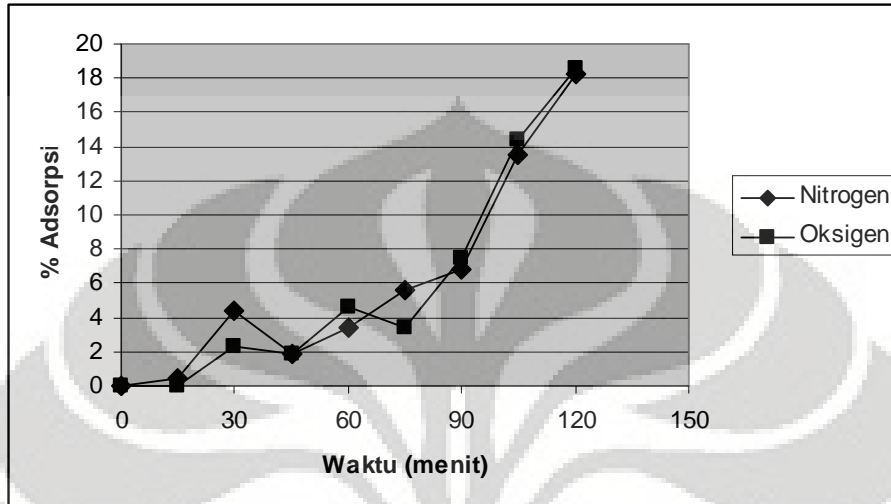


Gambar 4.19 Adsorpsi N₂ dan O₂ untuk Zeolit DP

Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa persentase adsorpsi Nitrogen dan Oksigen hampir sama yaitu sampai pada 40 %. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit DP mempunyai performa yang stabil untuk mengadsorp Nitrogen dan Oksigen dalam udara walaupun persentase adsorpsi lebih kecil dibandingkan zeolit Dealuminasi yang sampai mendekati 60 %. Hal ini disebabkan karena proses Dealuminasi menghasilkan rongga yang cukup besar akibat adanya Alumina yang tertarik keluar, tetapi setelah itu ion NH₄⁺ masuk pada proses pertukaran ion yang kembali memperkecil rongga dalam zeolit ini. Karena laju adsorpsi sebanding dengan luas permukaan adsorben maka semakin kecil luas permukaan adsorben, laju adsorpsi juga akan semakin kecil.

E. *Adsorpsi udara oleh zeolit DPK*

Hasil adsorpsi N₂ dan O₂ untuk zeolit DPK digambarkan pada Gambar 4.6 dibawah:



Gambar 4.20 Adsorpsi N₂ dan O₂ untuk Zeolit DPK

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa persentase adsorpsi Nitrogen dan Oksigen hampir sama yaitu sekitar 18 % dan memberikan performa adsorpsi yang terus meningkat setiap waktu, hal ini ditunjukkan oleh kurva yang masih terus menurun. Sehingga pada zeolit ini masih memungkinkan untuk mencapai kapasitas adsorpsi maksimal melebihi zeolit Dealuminasi sebelumnya. Hal ini disebabkan karena dengan dikalsinasi, uap air dan pengotor dalam zeolit dapat dihilangkan sehingga semakin menambah luas permukaannya menjadi lebih besar dibandingkan zeolit Dealuminasi dan zeolit DP yang juga akan memperbesar daya adsorpsinya.

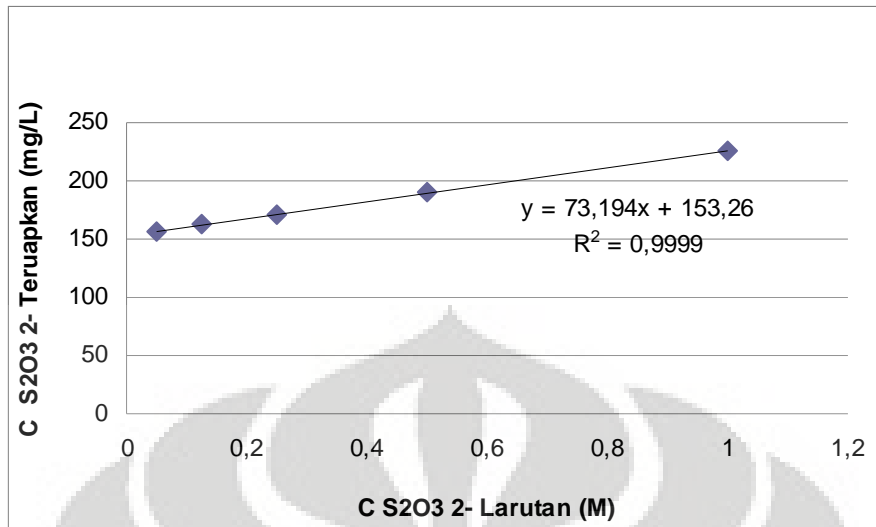
Dari kelima macam adsorpsi udara dengan lima variasi perlakuan zeolit ini menunjukkan suatu hasil dimana senyawa Nitrogen lebih mudah teradsorpsi dibandingkan Oksigen, hal ini disebabkan karena terjadi kompetisi diantara keduanya. Selain itu dapat dijelaskan karena Udara murni memiliki konsentrasi Nitrogen yang lebih besar dibandingkan Oksigen, maka akan menyebabkan senyawa Nitrogen lebih mudah untuk diadsorpsi.

4.3 UJI ADSORPSI SENYAWA SULFUR DENGAN ANALISIS TITRASI IODOMETRI

Uji adsorpsi senyawa Sulfur menggunakan larutan Natrium Tiosulfat yang mengandung Sulfur sebagai sampel yang akan diadsorp. Disini sebelumnya sampel dialiri udara dari kompresor dengan laju 51,521 ml/s, sehingga sampel berupa campuran udara - Tiosulfat. Larutan trapper yang digunakan terdiri dari campuran larutan Iodine 0,025 N, larutan HCl 6 M, dan air murni (Reverse Osmosis). Larutan trapper ini berfungsi sebagai media kontak gas Sulfur di dalam senyawa Tiosulfat. Uji adsorpsi dengan sampel Sulfur ini dilakukan dengan metode Titrasi Iodometri dengan menggunakan Natrium Tiosulfat 0,025 N dan Iodin 0,025 N. Metode ini dilakukan berdasarkan pertimbangan bahwa dengan metode ini dapat dengan mudah mengetahui konsentrasi kandungan ion $S_2O_3^{2-}$ yang teruapkan di keluaran kolom, selain itu berdasarkan pertimbangan bahwa tak terdapatnya kolom Sulfur pada alat GC-TCD di Laboratorium RPKA.

Sebelum mulai adsorpsi terlebih dahulu dilakukan kalibrasi senyawa Tiosulfat dengan variasi konsentrasi input sampel. Kalibrasi ini sangat penting dilakukan mengingat sampel berfasa gas yang sangat sulit diketahui konsentrasi yang teruapkan, sehingga terlebih dahulu kita perlu membuat suatu *trendline* dengan memvariasikan konsentrasi awal larutan Tiosulfat untuk mendapatkan konsentrasi Tiosulfat yang menguap (sebagai konsentrasi masukan ke kolom) dengan perhitungan titrasi (hasil kalibrasi dan perhitungan dijelaskan pada Lampiran D).

Dari hasil kalibrasi (pada Lampiran D) diperoleh bahwa kondisi optimal untuk konsentrasi Tiosulfat pada sampel adalah sebesar 1 M, dimana untuk konsentrasi 1 M ini hasil konsentrasi gas sampel yang dapat teruapkan adalah paling besar.

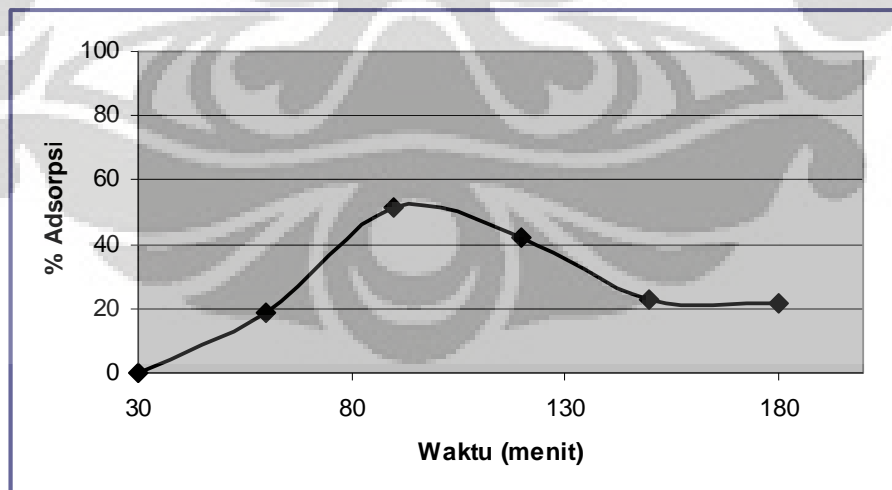


Gambar 4.21 Kalibrasi Tiosulfat dengan variasi Konsentrasi masukan

A. *Adsorpsi udara – Tiosulfat oleh zeolit alami*

Titrasi dilakukan dengan menggunakan larutan Natrium Tiosulfat dan Iodin 0,025 N dengan waktu operasi tiap titrasi untuk semua variasi zeolit adalah 30 menit. Kapasitas adsorpsi ditunjukkan oleh % Adsorpsi sebagai dengan persentase perbandingan selisih konsentrasi adsorbat mula-mula terhadap konsentrasi adsorbat tiap waktu dengan konsentrasi adsorbat pada kondisi inisialnya.

Hasil adsorpsi sampel udara – Tiosulfat oleh zeolit alami digambarkan pada Gambar 4.8 berikut:

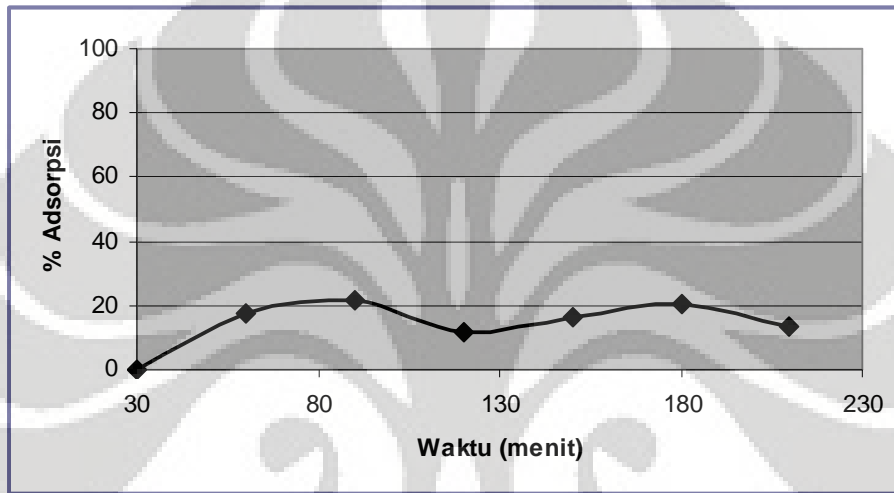


Gambar 4.22 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit Alami

Dari gambar diatas terlihat bahwa persentase adsorpsi Tiosulfat dari campurannya sampai sebesar 50 % dan akan dapat berlangsung sampai mendekati 100 menit, setelah itu laju adsorpsi menurun dan menjadi konstan setelah 150 menit yang ditunjukkan oleh bentuk kurva yang sudah landai.

B. Adsorpsi udara – Tiosulfat oleh zeolit Dealuminasi

Hasil adsorpsi sampel udara – Tiosulfat oleh zeolit Dealuminasi digambarkan pada Gambar 4.9 berikut:

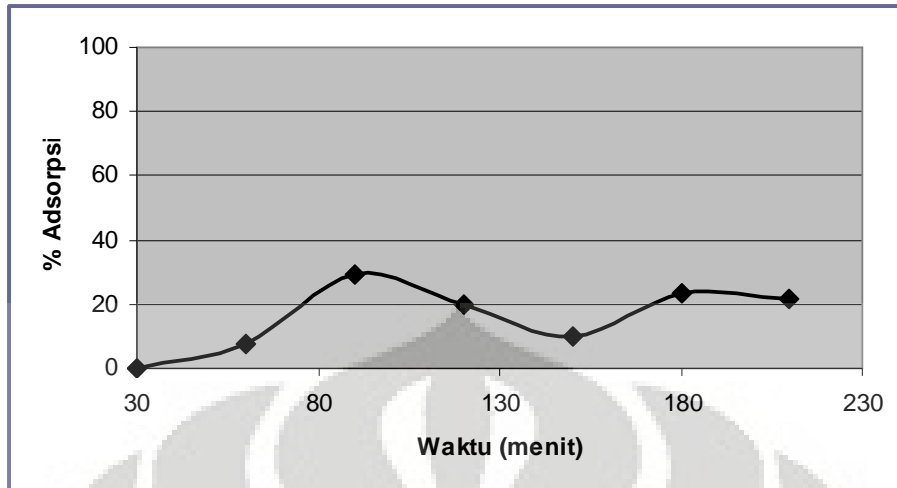


Gambar 4.23 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit Dealuminasi

Dari gambar diatas terlihat bahwa zeolit Dealuminasi kurang efektif dalam mengadsorp Tiosulfat dari campuran udara – Tiosulfat, hal ini ditunjukkan oleh bentuk kurva yang hampir landai dimana persentase adsorpsi yang dimilikinya hanya sekitar 20 %, juga terlihat bahwa proses adsorpsi hanya efektif sampai pada menit ke 90 setelah itu naik dan turun kembali. Bentuk kurva yang naik dan turun ini juga mengindikasikan bahwa terjadi ketidakstabilan dalam proses adsorpsi dengan zeolit jenis ini.

C. Adsorpsi udara – Tiosulfat oleh zeolit DK

Hasil adsorpsi sampel udara – Tiosulfat oleh zeolit DK digambarkan pada Gambar 4.10 berikut:

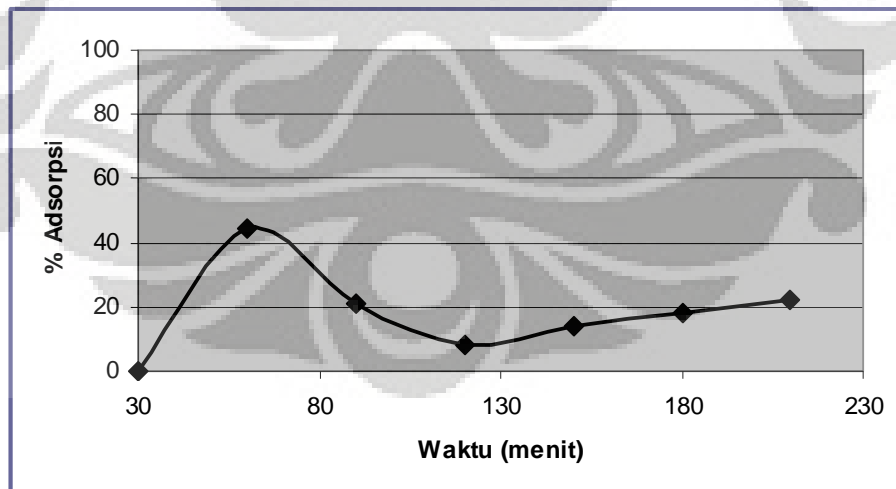


Gambar 4.24 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit DK

Dari gambar diatas terlihat bahwa zeolit DK memiliki persentase adsorpsi sampai sekitar 30 % pada menit ke 100, baru terjadi penurunan laju adsorpsi dan kemudian kembali naik lalu baru konstan setelah menit ke 180. Sehingga untuk zeolit inipun juga masih terjadi ketidakstabilan proses.

D. Adsorpsi udara – Tiosulfat oleh zeolit DP

Hasil adsorpsi sampel udara – Tiosulfat oleh zeolit DP digambarkan pada Gambar 4.11 berikut:



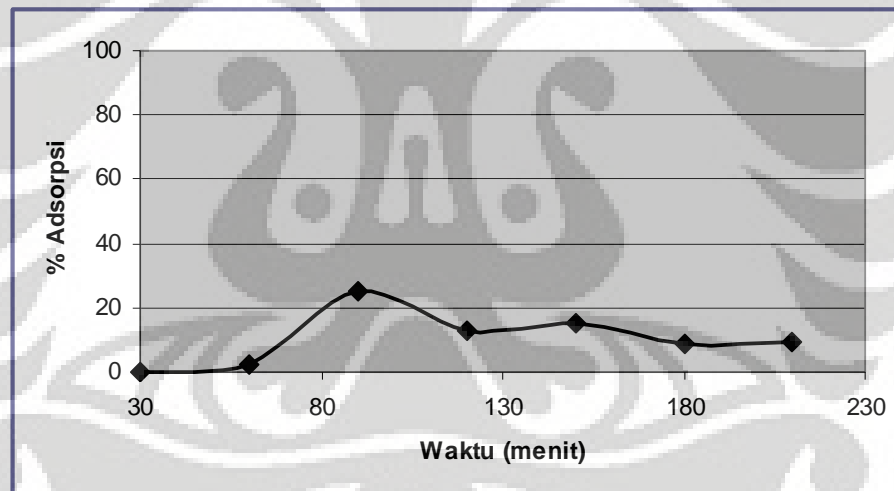
Gambar 4.25 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit DP

Dari gambar diatas terlihat bahwa pada zeolit DP, proses adsorpsi berlangsung efektif sampai pada menit 60 dimana persentase yang teradsorp mendekati 50 % seperti yang sudah ditunjukkan oleh sampel zeolit murni. Setelah itu terjadi penurunan laju adsorpsi yang ditunjukkan oleh kurva yang menanjak secara eksponensial.

Selain itu dari Gambar 4.11 diatas juga dapat terlihat bahwa setelah menit ke 120 proses adsorpsi masih berjalan, walaupun tidak secara signifikan, hal ini ditandai dengan bentuk kurva yang relatif masih terjadi penurunan. Karena proses adsorpsi yang sudah selesai dan kondisi zeolit yang telah jenuh ditunjukkan oleh bentuk kurva yang landai dan laju adsorpsi sudah konstan, maka pada sampel zeolit inipun masih terjadi ketidakstabilan proses walaupun tidak secara signifikan.

E. Adsorpsi udara – Tiosulfat oleh zeolit DPK

Hasil adsorpsi sampel udara – Tiosulfat oleh zeolit DPK digambarkan pada Gambar 4.12 berikut:



Gambar 4.26 Adsorpsi udara – Tiosulfat untuk Zeolit DPK

Dari gambar diatas proses adsorpsi yang ditunjukkan oleh zeolit dengan perlakuan ini hanya efektif sampai mengadsorp sekitar 25 % substrat yang berlangsung sampai pada menit ke 90 lalu terjadi penurunan laju adsorpsi. Jika dibandingkan dengan zeolit DP, pada zeolit DPK masih terjadi ketidakkonstanan laju adsorpsi walaupun tidak secara signifikan.

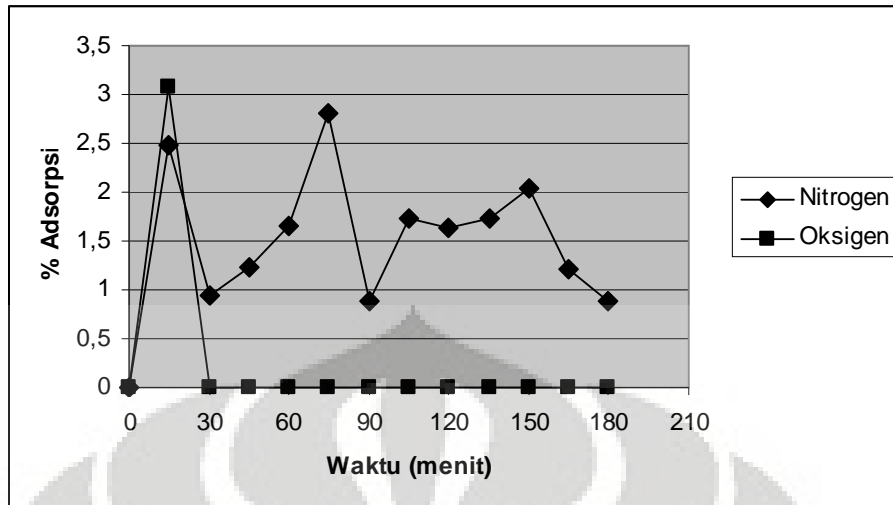
Dari kelima macam adsorpsi senyawa sulfur ini menunjukkan hasil bahwa proses adsorpsi Tiosulfat dari campurannya cukup optimal sampai pada 50 % substrat dapat teradsorp yang ditunjukkan oleh Zeolit Alami. Sudah diketahui bahwa salah satu faktor yang dapat meningkatkan laju adsorpsi adalah konsentrasi adsorbat. Konsentrasi adsorbat yang lebih besar dapat menaikkan laju adsorpsi proses. Bila dilihat pada Lampiran D1 sampai D5 terdapat perbedaan konsentrasi adsorbat yang masuk ke kolom. Pada zeolit alami, konsentrasi adsorbat masukan lebih besar dibandingkan konsentrasi adsorbat masukan pada zeolit lainnya. Hal inilah salah satunya yang menyebabkan zeolit alami memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan zeolit lainnya dalam mendegradasi sulfur dari campurannya.

4.4 PERBANDINGAN HASIL ADSORPSI UDARA DENGAN TIOSULFAT

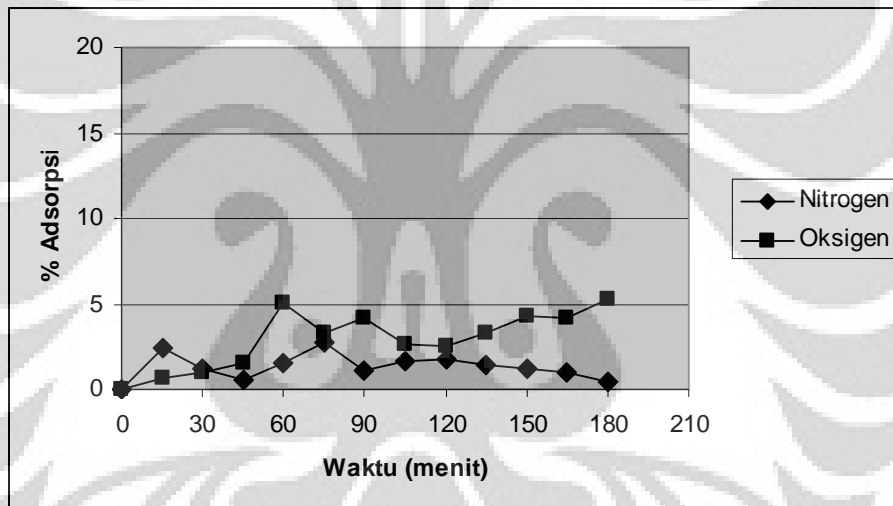
Dari keseluruhan penelitian yang dilakukan yaitu uji adsorpsi Tiosulfat dan adsorpsi udara, diperoleh hasil bahwa pada uji adsorpsi udara murni dengan kandungan utama Nitrogen dan Oksigen, zeolit Dealuminasi menunjukkan performa terbaik, sedangkan pada uji adsorpsi Tiosulfat zeolit alami tanpa perlakuan adalah yang terbaik dalam mengadsorp Sulfur dalam senyawa Tiosulfat.

Hal ini menunjukkan bahwa pada udara murni zeolit Dealuminasi lebih dominan dalam mengadsorp substrat Nitrogen dan Oksigen, sedangkan pada campuran udara – Tiosulfat senyawa sulfur lebih mudah untuk diasorp oleh zeolit alami.

Pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 disajikan dua hasil adsorpsi senyawa sulfur dalam campurannya dengan menggunakan analisis GC-TCD. Tujuan dari analisis GC ini adalah untuk menggambarkan kompetisi yang terjadi antara senyawa Tiosulfat dan udara (N_2 dan O_2).



Gambar 4.27 Kurva adsorpsi Nitrogen dan Oksigen dalam Udara – Tiosulfat oleh Zeolit Alami



Gambar 4.28 Kurva adsorpsi Nitrogen dan Oksigen dalam Udara – Tiosulfat oleh Zeolit Dealuminasi

Dari dua gambar diatas untuk zeolit alami dan zeolit Dealuminasi, dengan uji GC tak terlihat adanya adsorpsi secara signifikan baik pada senyawa Nitrogen maupun Oksigen, walaupun pada zeolit Dealuminasi masih menunjukkan performa yang lebih baik yaitu persentase adsorpsi sampai sekitar 5 % pada Oksigen. Hal ini disebabkan oleh senyawa sulfur yang lebih dominan untuk teradsorp dalam zeolit, sedangkan senyawa Nitrogen dan Oksigen hampir tak teradsorp. Hal ini ditunjukkan oleh kurva yang konstan. Hasil ini sangat berbeda dengan hasil adsorpsi

menggunakan udara murni, dimana Nitrogen dan Oksigen dapat teradsorp oleh lima macam zeolit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 – Gambar 4.6.

Analisis menggunakan Titrasi Iodometri bertujuan untuk menghitung kandungan sulfur dalam campuran yang kompleks. Hasil uji adsorpsinya dapat dilihat pada Gambar 4.8 – Gambar 4.12 yang menunjukkan performa adsorpsi yang berbeda.

Hal ini disebabkan oleh adanya kompetisi dalam campuran udara – Tiosulfat pada proses adsorpsi. Dari gambar, terlihat bahwa pada campuran ini senyawa Sulfur lebih dominan teradsorp dalam zeolit, artinya adalah gas yang terperangkap pada larutan *trapper* mengandung konsentrasi gas sulfur yang jauh lebih besar dibandingkan konsentrasi gas Nitrogen dan Oksigen didalamnya. Sehingga pada proses adsorpsi antara udara – Tiosulfat senyawa sulfur hampir seluruhnya dapat teradsorp dalam zeolit dan hanya sedikit senyawa Nitrogen dan Oksigen dari udara yang dapat teradsorp.

Selain itu perbedaan hasil yang ditunjukkan juga disebabkan adanya perbedaan ukuran molekul dan kepolaran antara senyawa Tiosulfat dan udara seperti pada Lampiran E4. Dari hasil penelitian Adiprawiro (2005) diketahui bahwa molekul polar akan lebih mudah diadsorp daripada molekul nonpolar. Senyawa Natrium Tiosulfat merupakan senyawa polar yang akan lebih mudah diadsorp dibandingkan dengan Nitrogen dan Oksigen yang merupakan senyawa nonpolar. Dari Lampiran E5 terlihat bahwa letak senyawa Oksigen dan Sulfur (golongan VI A) lebih di kanan Nitrogen (golongan V A) yang menunjukkan senyawa VI A memiliki kepolaran yang lebih besar jika bereaksi dengan golongan alkali (I A) seperti yang ditunjukkan pada senyawa sulfur yang terikat didalam Natrium Tiosulfat.

Lampiran E5 ini juga menunjukkan kenaikan sifat asam pada golongan VI A dimana pada satu golongan, semakin kebawah maka sifat asam semakin bertambah. Karena senyawa Sulfur berada lebih dibawah dari Oksigen maka sifat asamnya juga semakin kuat, hal ini yang juga mendasari bahwa senyawa Sulfur lebih mudah diadsorp oleh zeolit karena zeolit juga memiliki sifat sangat selektif terhadap senyawa yang memiliki sifat keasaman besar karena zeolit juga dapat bertindak sebagai katalis yang membentuk inti asam. Sifat keasaman yang tinggi yang dimiliki oleh zeolit alami ini juga memungkinkan dapat memperbesar konsentrasi adsorbat masukan sehingga zeolit alami memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan zeolit lainnya dalam mendegradasi sulfur dari komponen penyusunnya.

Perbedaan hasil ini juga dapat ditinjau dari ukuran molekul yang berbeda antara keduanya. Senyawa Nitrogen dengan diameter partikel 0,148 nm dan Oksigen dengan diameter partikel 0,296 nm berukuran lebih kecil dari Natrium Tiosulfat dengan diameter partikel 1,488 nm seharusnya lebih mudah teradsorp. Tetapi karena konsentrasi dan kepolaran Tiosulfat yang lebih besar dibandingkan Nitrogen dan Oksigen maka pengaruh dari ukuran molekul menjadi kurang dominan, akibatnya senyawa sulfur akan lebih mudah teradsorp daripada senyawa Nitrogen dan Oksigen.

Dari sini dapat disimpulkan pula bahwa pada adsorpsi senyawa Nitrogen dan Oksigen dalam udara, jenis adsorpsi yang terjadi hanya adsorpsi Fisika yang terjadi secara Isokorik, Isotermis dan Isentalpi, sedangkan pada adsorpsi senyawa sulfur jauh lebih kompleks. Pada adsorpsi sulfur ini juga terjadi adsorpsi kimia berdasarkan reaksi:



reaksi diatas merupakan reaksi katalis asam yang membentuk ion SO_3^{2-} dan ketika uap air hadir pada fasa gasnya, maka reaksinya akan sangat cepat yang akan menjadi seperti:



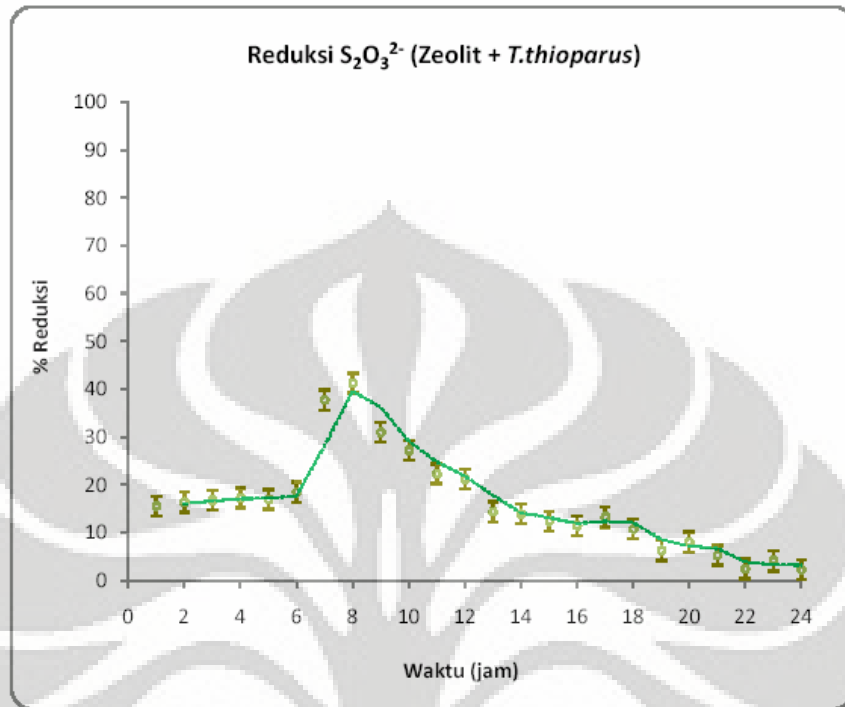
Dari reaksi (4.2) menghasilkan Asam Sulfat dalam konsentrasi kecil serta dihasilkan gas Sulfur, senyawa sulfur inilah yang selanjutnya akan diadsorpsi oleh zeolit.

4.5 APLIKASI ZEOLIT ALAMI UNTUK MENDEGRADASI SENYAWA TIOSULFAT DENGAN *THIOBACILLUS THIOPARUS*

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui peningkatan kemampuan reduksi kandungan $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ oleh zeolit jika diimmobilisasi dengan bakteri *Thiobacillus thioparus*, hal ini dikarenakan bakteri *Thiobacillus thioparus* akan kembali mengubah senyawa sulfur dari reaksi (4.2) menjadi ion SO_3^{2-} . Pengujian ini dilakukan selama 24 jam tanpa penambahan nutrisi untuk menunjang perkembangbiakan bakteri.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, kemampuan reduksi $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ meningkat dibandingkan dengan hasil pengujian adsorpsi zeolit alami. Pada uji degradasi ini, persentase reduksi tertinggi mencapai 41,31 % dan dicapai pada jam ke 8. Sedangkan pada uji adsorpsi zeolit alami hanya mencapai 15,44 %. Efisiensi penghilangan rata-rata dari uji degradasi ini adalah 16,14 %. Sedangkan pada uji

adsorpsi zeolit alami sebesar 6,66 %. Gambar 4.15 menggambarkan degradasi senyawa Tiosulfat terhadap waktu.



Gambar 4.29 Grafik Degradasi $S_2O_3^{2-}$ terhadap Waktu

Kapasitas penghilangan sulfur dari zeolit yang diimmobilisasi ini juga meningkat menjadi 8,235 g-S/kg zeolit kering, dibandingkan pada saat adsorpsi zeolit alami yaitu sebesar 1,25 g-S/kg zeolit kering.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah:

1. Hasil karakterisasi luas permukaan sampel zeolit yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan BET yaitu: Zeolit alami sebesar 80,53 m²/gr; Zeolit Dealuminasi sebesar 61,13 m²/gr; Zeolit DK sebesar 58,94 m²/gr; Zeolit DP sebesar 64,44 m²/gr; dan Zeolit DPK sebesar 74,10 m²/gr.
2. Secara umum proses perlakuan awal dapat menaikkan luas permukaan adsorben kecuali proses Dealuminasi yang merusak struktur zeolit akibat penggunaan senyawa asam Florida dengan konsentrasi yang besar sehingga dapat memperkecil luas permukaan dari adsorben.
3. Pada uji adsorpsi udara yang memiliki komponen penyusun terbanyak Nitrogen dan Oksigen, persentase adsorpsi Nitrogen terbesar adalah sekitar 60 %, persentase yang sama juga ditunjukkan pada senyawa Oksigen (pada suhu kamar dan laju alir udara sebesar 51,52 ml/s) untuk zeolit Dealuminasi.
4. Pada uji adsorpsi senyawa sulfur dari campuran udara – Tiosulfat diperoleh persentase adsorpsi sebesar 50 % (pada suhu kamar dan laju alir udara sebesar 51,52 ml/s) untuk zeolit alami.
5. Pada campuran udara – Tiosulfat diperoleh hasil bahwa zeolit lebih dominan dalam mengadsorp senyawa sulfur yang bersifat polar daripada udara yang terdiri dari Nitrogen dan Oksigen yang bersifat nonpolar.

5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hal yang dapat disarankan untuk memperoleh hasil yang lebih baik yaitu

1. Perlu diupayakan pemilihan kombinasi metode perlakuan awal dari zeolit sebagai adsorben dalam proses adsorpsi agar tak terjadi kerusakan struktur zeolit yang dapat menyebabkan penurunan luas permukaan zeolit yang mempengaruhi kinerja proses adsorpsi.
2. Perlu dilakukannya uji keasaman sebelum adsorben digunakan dalam proses adsorpsi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui daya adsorpsi yang terbaik dari beberapa sampel zeolit. Proses ini dapat dilakukan dalam desikator dengan meneteskan sampel zeolit (yang sebelumnya sudah ditimbang beratnya) dengan larutan NH_4 kemudian membiarkannya selama beberapa waktu lalu ditimbang berat akhirnya, dimana sampel zeolit yang paling efektif mengadsorp adsorbat adalah sampel zeolit yang memiliki selisih berat akhir dan awal yang paling besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiprawiro, David. (2005). *Adsorpsi Surfaktan Linear Alkylbenzene Sulfonate dengan Karbon Aktif*. Skripsi, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Akbar, Muhammad (2006). *Optimasi Laju Alir Hidrogen Peroksida sebagai Akseptor Elektron dalam Proses Biobarrier dengan Kontaminan Benzena dan Toluena*. Seminar, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Dennis, Jerry. (1997). *Eliminasi SO_x dengan CuO / Zeolit Alam: Preparasi CuO / Zeolit Alam dengan Metode Presipitasi dan Karakterisasinya*. Skripsi, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Dianursanti. (1996). *Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Klinoptilolit untuk Katalis dan Penyangga Reaksi Dekomposisi Metanol*. Skripsi, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Fessenden, Ralph, J., Fessenden, Joan, S.. (1983). *Kimia Organik*. Jilid 1, Penerbit Erlangga.
- Fierdaus, Mochammad, et al. (2006). *Penelitian Reduksi Kandungan Sulfur dalam Gas Bumi dengan Aktivitas Mikroba secara Biofilter*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS.
- J.R, Raday., Underwood A.L, (1986). *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi V, Penerbit Erlangga.
- Mailisa, R.. (2006). *Proses Katalitik dalam Sintesis Senyawa Hidrokarbon Setaraf Fraksi Bensin dari Minyak Sawit dengan Menggunakan Katalis B_2O_3 / Zeolit*. Skripsi, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Oktianasari, Ira. (2002). *Karakteristik Pemisahan Campuran Gas H_2 / N_2 Menggunakan Adsorben Zeolit Alam dan Zeolit Alam / NiO dengan Teknik PSA*. Skripsi, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Pengkajian Energi Universitas Indonesia. (2006). *Indonesia Energy Outlook & Statistics 2006, Executive Summary*.

Rifky. (1996). *Preparasi CuO / Zeolit Alam dengan Metode Impregnasi dan Karakterisasinya untuk Eliminasi SO_x dari Gas Buang*. Skripsi, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Situs Web Kimia Indonesia. *Zeolit sebagai Mineral Serbaguna*.

<http://www.chem-is-try.org> (11 juni 2008)

Suhendra, Eddy. (1997). *Studi Kinerja Beberapa Jenis Zeolit Alam sebagai Adsorben H₂O dalam Kandungan Gas*. Skripsi, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Syamsu, Dian, N.. (1997). *Karakterisasi dan Aplikasi Zeolit Alam Lampung untuk Mengadsorpsi Ion Ca²⁺ dari Air*. Skripsi, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Wikipedia, the free encyclopedia. “*Ion Exchange*”

http://en.wikipedia.org/wiki/Ion_Exchange (11 juni 2008)

Wikipedia, the free encyclopedia. “*Periodic table*”

http://en.wikipedia.org/wiki/Periodic_table (9 juli 2008)

Wikipedia, the free encyclopedia. “*Sodium Thiosulfate*”

http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_Thiosulfate (24 juni 2008)

Wikipedia, the free encyclopedia. “*Thiosulfate ion*”

http://en.wikipedia.org/wiki/Thiosulfate_ion (9 juli 2008)

Wikipedia, the free encyclopedia. “*Zeolite*”

<http://en.wikipedia.org/wiki/Zeolite> (11 juni 2008)

LAMPIRAN

A. PERHITUNGAN & HASIL KALIBRASI TEKANAN KOMPRESOR

Data Perhitungan Kalibrasi Kompresor:

Pkompresor = 0,4 Bar	
t Bubble (s)	F terukur (ml/s)
2,61	110,53161
2,6	110,95673
2,44	118,23258
F rata-rata	113,24031

Pkompresor = 0,5 Bar	
t Bubble (s)	F terukur (ml/s)
1,71	168,70614
1,81	159,38536
1,74	165,79741
F rata-rata	164,62964

Pkompresor = 0,6 Bar	
t Bubble (s)	F terukur (ml/s)
1,47	196,25
1,46	197,59418
1,39	207,54496
F rata-rata	200,46305

Pkompresor = 0,7 Bar	
t Bubble (s)	F terukur (ml/s)
1,1	262,26136
1,14	253,05921
1,15	250,8587
F rata-rata	255,39309

Pkompresor = 0,8 Bar	
t Bubble (s)	F terukur (ml/s)
0,82	351,81402
0,88	327,8267
0,89	324,14326
F rata-rata	334,59466

Pkompresor = 0,9 Bar	
t Bubble (s)	F terukur (ml/s)
0,75	384,65
0,68	424,24632
0,77	374,65909
F rata-rata	394,51847

Pkompresor = 1 Bar	
t Bubble (s)	F terukur (ml/s)
0,68	424,24632
0,61	472,93033
0,63	457,91667
F rata-rata	451,69777

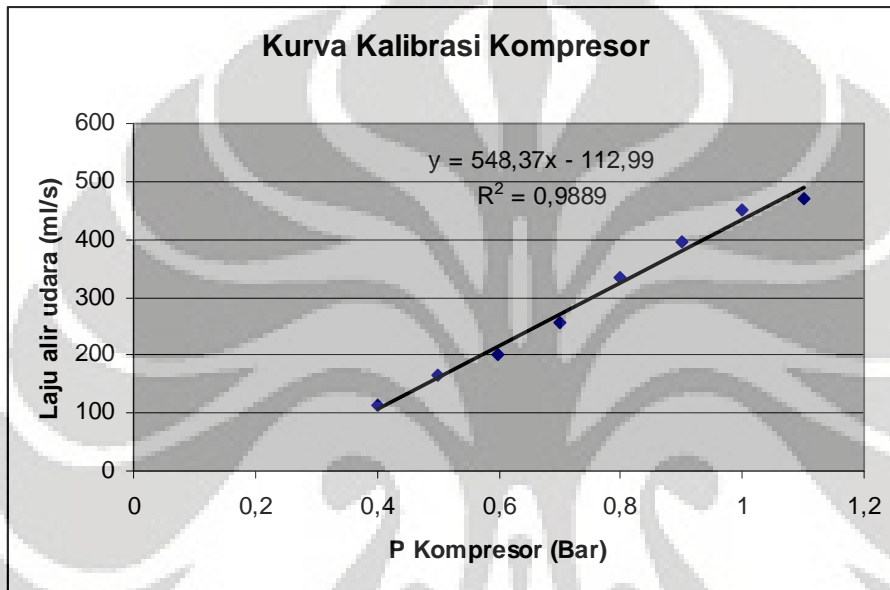
Pkompresor = 1,1 Bar	
t Bubble (s)	F terukur (ml/s)
0,65	443,82692
0,62	465,30242
0,57	506,11842
F rata-rata	471,74925

$$F \text{ terukur} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 h}{t_{\text{bubble}}} \text{ cm}^3/\text{s} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 h}{t_{\text{bubble}}} \text{ ml/s}$$

Dengan d = diameter dalam kolom (cm)

h = tinggi kolom (cm)

$$\text{sehingga } F \text{ terukur} = \frac{\frac{1}{4} \pi (3,5)^2 30}{t_{\text{bubble}}} \text{ cm}^3/\text{s}$$



Persamaan kalibrasi **$Y = 548,37x - 112,99$**

Dengan Y = laju alir udara terukur

x = P kompresor

Untuk tekanan operasi kompresor sebesar 0,3 bar diperoleh laju alir udara sebesar 51,521 ml/s

B. KARAKTERISASI LUAS PERMUKAAN ADSORBEN DENGAN BET



LUAS PERMUKAAN ZEOLIT ALAMI

Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Zeolit Alam Lampung				
Description	Rendra				
Comments					
Sample Weight	0.4266 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	66.9 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	02/20/2008
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	A8220014.RA
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	5.185E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	8.053E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	4.323E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	8.619E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	7.114E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	4.390E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	2.528E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	2.198E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	2.239E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	9.718E+01	Å
DR Method Pore Diameter (Model).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Model).....	1.402E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Model).....	2.639E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
 Last Po Acquired 732.86 mm Hg
 Additional Initialization Information Not Recorded.

B-H/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol



LUAS PERMUKAAN ZEOLIT DEALUMINASI

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID zeolite Dealuminasi
Description Rendra
Comments
Sample Weight 0.0895 g
Adsorbate NITROGEN Outgas Temp 150.0 °C Operator Jajat
Cross-Sec Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time 2.0 hrs Analysis Time 35.1 min
NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler 3 End of Run 05/07/2008 12:5
Molecular Wt 28.0134 g/mol Equil Time 2 File Name A8507014.RAW
Station # 4 Bath Temp. 77.40 PC SW Version Pre-1.20

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	4.036E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	6.113E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.687E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	2.349E+01	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	5.087E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.250E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	2.092E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.950E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.965E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	6.964E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.600E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.388E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.593E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 764.07 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol



LUAS PERMUKAAN ZEOLIT DK

Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Deal +kalsinasi				
Description	Rendra				
Comments					
Sample Weight	0.4171 g	Outgas Temp	250.0 °C	Operator	Jajat
Absorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	44.9 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/07/2008 13:
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	A8507025.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	5				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	3.779E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	5.894E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	3.080E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	6.988E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	5.263E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	3.616E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.870E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.617E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.647E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	9.873E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.417E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.667E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
 Last Po Acquired 765.36 mm Hg
 Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol



LUAS PERMUKAAN ZEOLIT DP

Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	zeolit Dealuminasi+ pertukaran ion				
Description	Rendra				
Sample Weight	0.4572 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Sorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	47.5 min
Loss-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	04/30/2008 14:5
Nonideality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	A8430014.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bata Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Station #	4				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	4.206E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	6.444E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	2.512E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	1.694E+01	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	6.414E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	9.383E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	2.280E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	2.000E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	2.032E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	9.401E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.412E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.648E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
 Last Po Acquired 763.80 mm Hg
 Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ * kJ/mol



LUAS PERMUKAAN ZEOLIT DPK

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Zeolit Del + Kal				
Description	Ariyo				
Comments					
Sample Weight	0.4537 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Sorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	45.8 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/16/2008 09:5
Non-ideality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	A8516014.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	4.763E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	7.410E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	4.188E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	5.752E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	6.572E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	2.903E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	2.336E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	2.003E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	2.043E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	1.023E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.417E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.657E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
 Last Po Acquired 741.42 mm Hg
 Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

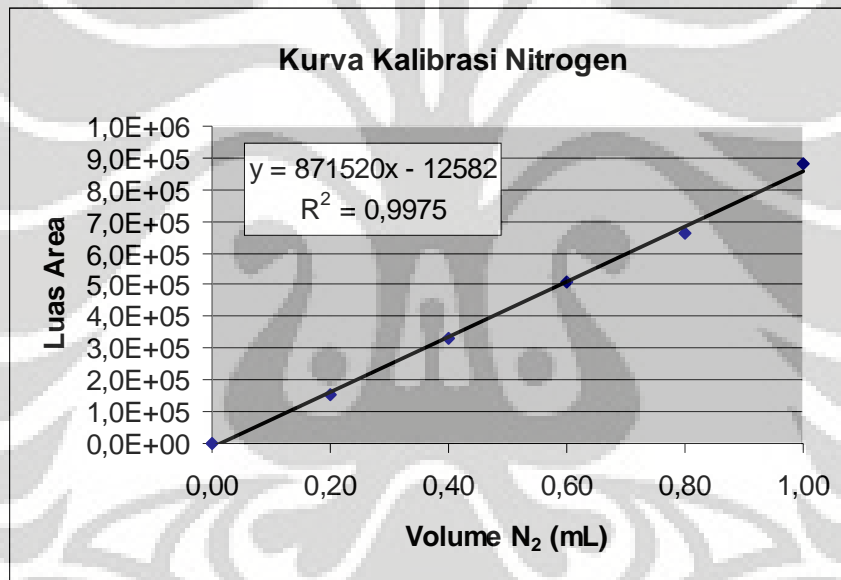
Tabel ringkasan hasil analisis BET sampel-sampel zeolit

Parameter	Zeolit Alami	Zeolit Dealuminasi	Zeolit Dealuminasi + Kalsinasi	Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion	Zeolit Dealuminasi + Pertukaran Ion + Kalsinasi
Ukuran Luas Permukaan (Dengan Metode Langmuir)	80,53 m²/gr	61,13 m²/gr	58,94 m²/gr	64,44 m²/gr	74,10 m²/gr
Ukuran Volume Pori (Dengan metode 'DR Micro Pore Volume')	0,02528 cm³/gr	0,02092 cm³/gr	0,0187 cm³/gr	0,0228 cm³/gr	0,02336 cm³/gr
Ukuran Diameter Pori (Dengan metode 'DR Micro Pore Width')	97,18 A⁰ = 9,718 nm	69,64 A⁰ = 6,964 nm	98,73 A⁰ = 9,873 nm	94,01 A⁰ = 9,401 nm	102,3 A⁰ = 10,23 nm

C. HASIL PERHITUNGAN UJI ADSORPSI DENGAN GC – TCD

Hasil Kalibrasi Senyawa Nitrogen

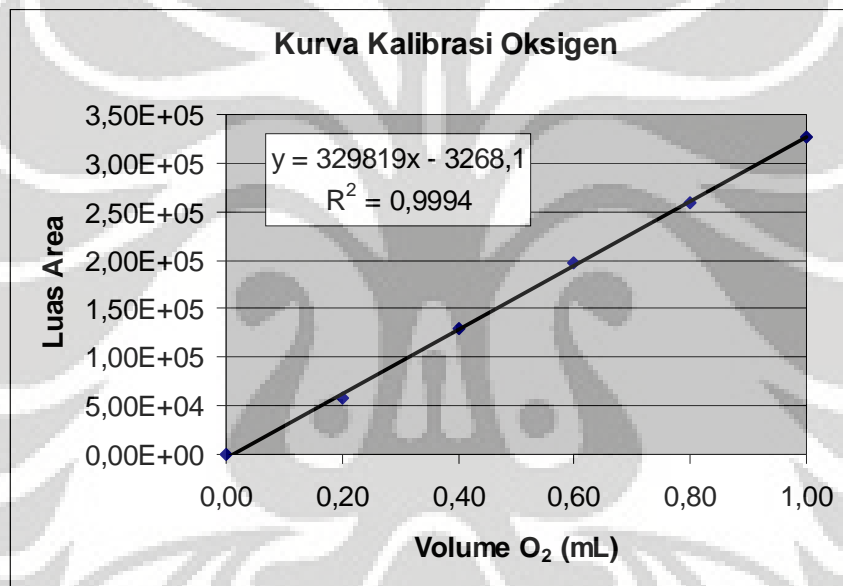
Volume (mL)	Luas Area Terdeteksi	<u>Kondisi Operasi</u>		
		T =	25	°C
0.00	0	P =	1	atm
0.20	155406	Mr =	28	gr/mol
0.40	330645	R =	0.08205	L.atm/mol.K
0.60	511776			
0.80	660243			
1.00	881000			



Persamaan Kalibrasi
$Y = 871520x - 12582$
Modifikasi
$X = (Y + 12582) / 871520$

Hasil Kalibrasi Senyawa Oksigen

Volume (mL)	Luas Area Terdeteksi		
	Y ₁	Y ₂	Y rata-rata
0.00	0	0	0
0.20	57175	57392	57283.50
0.40	128745	128759	128752.00
0.60	198472	196472	197472.00
0.80	259919	259918	259918.50
1.00	326353	326489	326421.00



Persamaan Kalibrasi
$Y = 329819x - 3268.1$
Modifikasi
$X = (Y+3268.1)/329819$

C.1 Uji Adsorpsi N₂ dan O₂ dengan Adsorben Zeolit Alami

Sampel	Zeolit Alami		T=	25	°C		Kalibrasi Nitrogen
Massa	± 176 gram		P=	0.3	atm		$X = (Y+12582)/871520$
			R=	0.08205	L.atm/mol.K		
Laju Alir Udara	51.521 ml/s						Kalibrasi Oksigen
P kompresor	0.3 bar						$X = (Y+3268.1)/329819$

T (menit ke-)	Luas Area (Inlet)]		Luas Area (Outlet)		Volum (mL)		Mol		Massa (mg)		C/Co		% Adsorpsi	
	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂
0	3978309	936497	3978309	936497	4.5792	2.8493	9.36E-05	5.82E-05	2.6206	1.8636	1.0000	1.0000	0	0
15	-	-	3884218	926386	4.4713	2.8187	9.14E-05	5.76E-05	2.5589	1.8435	0.9764	0.9892	2.36	1.08
30	-	-	3730638	882270	4.2950	2.6849	8.78E-05	5.49E-05	2.4580	1.7561	0.9379	0.9423	6.21	5.77
45	-	-	3493631	844377	4.0231	2.5700	8.22E-05	5.25E-05	2.3024	1.6809	0.8786	0.9020	12.14	9.8
60	-	-	3475847	849483	4.0027	2.5855	8.18E-05	5.28E-05	2.2907	1.6910	0.8741	0.9074	12.59	9.26
75	-	-	3567406	857574	4.1078	2.6100	8.4E-05	5.33E-05	2.3508	1.7071	0.8970	0.9160	10.3	8.4
90	-	-	3571003	857919	4.1119	2.6111	8.4E-05	5.34E-05	2.3532	1.7078	0.8979	0.9164	10.21	8.36
105	-	-	3574999	851599	4.1165	2.5919	8.41E-05	5.3E-05	2.3558	1.6952	0.8989	0.9097	10.11	9.03

C.2 Uji Adsorpsi N₂ dan O₂ dengan Adsorben Zeolit Dealuminasi

Sampel	Zeolit Dealuminasi	T=	25	°C	Kalibrasi Nitrogen
Massa	± 176 gram	P=	0.3	atm	$X = (Y+12582)/871520$
		R=	0.08205	L.atm/mol.K	
Laju Alir Udara	51.521 ml/s				Kalibrasi Oksigen
P kompresor	0.3 bar				$X = (Y+3268.1)/329819$

T (menit ke-)	Luas Area (Inlet)]		Luas Area (Outlet)		Volum (mL)		Mol		Massa (mg)		C/Co		% Adsorpsi	
	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂
0	1857843	468479	1857843	468479	2.1462	1.4303	2.63E-05	1.75E-05	0.7369	0.5613	1.0000	1.0000	0	0
15	-	-	1782686	438693	2.0599	1.3400	2.53E-05	1.64E-05	0.7073	0.5259	0.9598	0.9369	4.02	6.31
30	-	-	1237027	312113	1.4338	0.9562	1.76E-05	1.17E-05	0.4923	0.3752	0.6681	0.6685	33.19	33.15
45	-	-	1082705	198741	1.2568	0.6125	1.54E-05	7.51E-06	0.4315	0.2404	0.5856	0.4282	41.44	57.18
60	-	-	1025503	203388	1.1911	0.6266	1.46E-05	7.68E-06	0.4090	0.2459	0.5550	0.4381	44.5	56.19
75	-	-	960553	207353	1.1166	0.6386	1.37E-05	7.83E-06	0.3834	0.2506	0.5203	0.4465	47.97	55.35
90	-	-	846658	247869	0.9859	0.7614	1.21E-05	9.34E-06	0.3385	0.2988	0.4594	0.5324	54.06	46.76
105	-	-	782768	280620	0.9126	0.8607	1.12E-05	1.06E-05	0.3134	0.3378	0.4252	0.6018	57.48	39.82
120	-	-	800896	260534	0.9334	0.7998	1.14E-05	9.81E-06	0.3205	0.3139	0.4349	0.5592	56.51	44.08

C.3 Uji Adsorpsi N₂ dan O₂ dengan Adsorben Zeolit DK

Sampel	Zeolit DK	T=	25	°C	Kalibrasi Nitrogen
Massa	± 176 gram	P=	0.3	atm	$X = (Y+12582)/871520$
		R=	0.08205	L.atm/mol.K	
Laju Alir Udara	51.521 ml/s				Kalibrasi Oksigen
P kompresor	0.3 bar				$X = (Y+3268.1)/329819$

T (menit ke-)	Luas Area (Inlet)]		Luas Area (Outlet)		Volum (mL)		Mol		Massa (mg)		C/Co		% Adsorpsi	
	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂
0	960543	468479	960543	180320	1.1166	0.5566	1.37E-05	6.83E-06	0.3834	0.2184	1.0000	1.0000	0	0
15	-	-	711408	178218	0.8307	0.5503	1.02E-05	6.75E-06	0.2852	0.2159	0.7440	0.9886	25.6	1.14
30	-	-	701424	175319	0.8193	0.5415	1E-05	6.64E-06	0.2813	0.2125	0.7337	0.9728	26.63	2.72
45	-	-	694313	174868	0.8111	0.5401	9.95E-06	6.62E-06	0.2785	0.2120	0.7264	0.9703	27.36	2.97
60	-	-	694267	173743	0.8111	0.5367	9.95E-06	6.58E-06	0.2785	0.2106	0.7264	0.9642	27.36	3.58
75	-	-	673554	173751	0.7873	0.5367	9.65E-06	6.58E-06	0.2703	0.2106	0.7051	0.9642	29.49	3.58
90	-	-	666617	165583	0.7793	0.5120	9.56E-06	6.28E-06	0.2676	0.2009	0.6980	0.9197	30.2	8.03
105	-	-	688573	171177	0.8045	0.5289	9.87E-06	6.49E-06	0.2763	0.2076	0.7205	0.9502	27.95	4.98
120	-	-	685392	172132	0.8009	0.5318	9.82E-06	6.52E-06	0.2750	0.2087	0.7173	0.9554	28.27	4.46
135	-	-	687600	172480	0.8034	0.5329	9.85E-06	6.53E-06	0.2759	0.2091	0.7195	0.9573	28.05	4.27

C.4 Uji Adsorpsi N₂ dan O₂ dengan Adsorben Zeolit DP

Sampel	Zeolit DP	T=	25	°C	Kalibrasi Nitrogen
Massa	± 176 gram	P=	0.3	atm	$X = (Y+12582)/871520$
		R=	0.08205	L.atm/mol.K	
Laju Alir Udara	51.521 ml/s				Kalibrasi Oksigen
P kompresor	0.3 bar				$X = (Y+3268.1)/329819$

T (menit ke-)	Luas Area (Inlet)		Luas Area (Outlet)		Volum (mL)		Mol		Massa (mg)		C/C ₀		% Adsorpsi	
	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂
0	648823	164499	648823	164499	0.7589	0.5087	9.307E-06	6.238E-06	0.2606	0.1996	1.0000	1.0000	0	0
15	-	-	476956	120419	0.5617	0.3750	6.888E-06	4.599E-06	0.1929	0.1472	0.7401	0.7373	25.99	26.27
30	-	-	463713	118368	0.5465	0.3688	6.702E-06	4.523E-06	0.1877	0.1447	0.7201	0.7250	27.99	27.5
45	-	-	387477	98531	0.4590	0.3087	5.629E-06	3.785E-06	0.1576	0.1211	0.6049	0.6068	39.51	39.32
60	-	-	460909	119884	0.5433	0.3734	6.663E-06	4.579E-06	0.1866	0.1465	0.7159	0.7341	28.41	26.59
75	-	-	555166	140505	0.6514	0.4359	7.989E-06	5.346E-06	0.2237	0.1711	0.8584	0.8570	14.16	14.3
90	-	-	599268	152358	0.7020	0.4719	8.609E-06	5.786E-06	0.2411	0.1852	0.9251	0.9276	7.49	7.24
105	-	-	621115	158921	0.7271	0.4918	8.917E-06	6.031E-06	0.2497	0.1930	0.9581	0.9668	4.19	3.32
120	-	-	625722	162772	0.7324	0.5034	8.982E-06	6.174E-06	0.2515	0.1976	0.9651	0.9897	3.49	1.03
135	-	-	630553	162886	0.7379	0.5038	9.05E-06	6.178E-06	0.2534	0.1977	0.9724	0.9904	2.76	0.96

C.5 Uji Adsorpsi N₂ dan O₂ dengan Adsorben Zeolit DPK

Sampel	Zeolit DPK	T=	25	°C	Kalibrasi Nitrogen
Massa	± 176 gram	P=	0.3	atm	$X = (Y+12582)/871520$
		R=	0.08205	L.atm/mol.K	
Laju Alir Udara	51.521 ml/s				Kalibrasi Oksigen
P kompresor	0.3 bar				$X = (Y+3268.1)/329819$

T (menit ke-)	Luas Area (Inlet)		Luas Area (Outlet)		Volum (mL)		Mol		Massa (mg)		C/C ₀		% Adsorpsi	
	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂
0	713414	179510	713414	179510	0.8330	0.5542	1.022E-05	6.799E-06	0.2862	0.2176	1.0000	1.0000	0	0
15	-	-	710580	180250	0.8298	0.5564	1.018E-05	6.827E-06	0.2851	0.2185	0.9961	1.0040	0.39	0
30	-	-	681431	175203	0.7963	0.5411	9.77E-06	6.639E-06	0.2736	0.2125	0.9559	0.9764	4.41	2.36
45	-	-	700228	176087	0.8179	0.5438	1.004E-05	6.672E-06	0.2810	0.2135	0.9818	0.9813	1.82	1.87
60	-	-	688985	170985	0.8050	0.5283	9.877E-06	6.482E-06	0.2766	0.2074	0.9664	0.9534	3.36	4.66
75	-	-	672984	173249	0.7866	0.5352	9.652E-06	6.567E-06	0.2702	0.2101	0.9443	0.9657	5.57	3.43
90	-	-	664333	165937	0.7767	0.5130	9.53E-06	6.295E-06	0.2668	0.2014	0.9324	0.9257	6.76	7.43
105	-	-	615481	153219	0.7207	0.4745	8.842E-06	5.821E-06	0.2476	0.1863	0.8651	0.8562	13.49	14.38
120	-	-	581303	145489	0.6814	0.4510	8.361E-06	5.534E-06	0.2341	0.1771	0.8180	0.8139	18.2	18.61

C.6 Uji Adsorpsi Udara - Tiosulfat dengan Adsorben Zeolit Alami

T (menit ke-)	Luas Area (Inlet)]		Luas Area (Outlet)		Volum (mL)		Mol		Massa (mg)		C/Co		% Adsorpsi		Konsentrasi (mg/L)	
	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂
0	683692	167335	683692	167335	0.7989	0.5173	9.802E-06	6.35E-06	0.2745	0.2031	1	1	0	0	343.5456	392.6236
15	-	-	666412	162099	0.7791	0.5014	9.559E-06	6.15E-06	0.2677	0.1969	0.9752	0.9693	2.48	3.07	343.5456	392.6236
30	-	-	677137	169429	0.7914	0.5236	9.71E-06	6.42E-06	0.2719	0.2056	0.9906	1.0123	0.94	0	343.5456	392.6236
45	-	-	675147	171929	0.7891	0.5312	9.682E-06	6.52E-06	0.2711	0.2086	0.9877	1.0269	1.23	0	343.5456	392.6236
60	-	-	672227	173040	0.7858	0.5346	9.641E-06	6.56E-06	0.2699	0.2099	0.9835	1.0334	1.65	0	343.5456	392.6236
75	-	-	664107	171737	0.7764	0.5306	9.527E-06	6.51E-06	0.2667	0.2083	0.9719	1.0258	2.81	0	343.5456	392.6236
90	-	-	677499	170501	0.7918	0.5269	9.715E-06	6.46E-06	0.2720	0.2069	0.9911	1.0186	0.89	0	343.5456	392.6236
105	-	-	671669	169547	0.7851	0.5240	9.633E-06	6.43E-06	0.2697	0.2057	0.9827	1.0130	1.73	0	343.5456	392.6236
120	-	-	672259	168785	0.7858	0.5217	9.641E-06	6.4E-06	0.2700	0.2048	0.9836	1.0085	1.64	0	343.5456	392.6236
135	-	-	671600	170604	0.7850	0.5272	9.632E-06	6.47E-06	0.2697	0.2070	0.9826	1.0192	1.74	0	343.5456	392.6236
150	-	-	669542	170232	0.7827	0.5260	9.603E-06	6.45E-06	0.2689	0.2065	0.9797	1.0170	2.03	0	343.5456	392.6236
165	-	-	675239	169835	0.7892	0.5248	9.683E-06	6.44E-06	0.2711	0.2061	0.9879	1.0147	1.21	0	343.5456	392.6236
180	-	-	677499	174058	0.7918	0.5376	9.715E-06	6.6E-06	0.2720	0.2111	0.9911	1.0394	0.89	0	343.5456	392.6236

C.7 Uji Adsorpsi Udara - Tiosulfat dengan Adsorben Zeolit Dealuminasi

T (menit ke-)	Luas Area (Inlet)		Luas Area (Outlet)		Volum (mL)		Mol		Massa (mg)		C/Co		% Adsorpsi		Konsentrasi (mg/L)	
	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂
	0	699603	174024	717656	183951	0.8379	0.5676	1.028E-05	6.96E-06	0.2879	0.2229	1	1	0	0	343.5456
15	-	-	699603	182697	0.8172	0.5638	1.003E-05	6.92E-06	0.2807	0.2214	0.9753	0.9933	2.47	0.67	343.5456	392.6236
30	-	-	708537	182148	0.8274	0.5622	1.015E-05	6.9E-06	0.2843	0.2207	0.9875	0.9904	1.25	0.96	343.5456	392.6236
45	-	-	713713	181031	0.8334	0.5588	1.022E-05	6.86E-06	0.2863	0.2194	0.9946	0.9844	0.54	1.56	343.5456	392.6236
60	-	-	706742	174565	0.8254	0.5392	1.013E-05	6.62E-06	0.2836	0.2117	0.9851	0.9499	1.49	5.01	343.5456	392.6236
75	-	-	697787	177827	0.8151	0.5491	1E-05	6.74E-06	0.2800	0.2156	0.9728	0.9673	2.72	3.27	343.5456	392.6236
90	-	-	709228	176212	0.8282	0.5442	1.016E-05	6.68E-06	0.2845	0.2137	0.9885	0.9587	1.15	4.13	343.5456	392.6236
105	-	-	705313	178950	0.8237	0.5525	1.011E-05	6.78E-06	0.2830	0.2169	0.9831	0.9733	1.69	2.67	343.5456	392.6236
120	-	-	704835	179257	0.8232	0.5534	1.01E-05	6.79E-06	0.2828	0.2173	0.9824	0.9749	1.76	2.51	343.5456	392.6236
135	-	-	707009	177750	0.8257	0.5488	1.013E-05	6.73E-06	0.2837	0.2155	0.9854	0.9669	1.46	3.31	343.5456	392.6236
150	-	-	708949	175851	0.8279	0.5431	1.016E-05	6.66E-06	0.2844	0.2132	0.9881	0.9567	1.19	4.33	343.5456	392.6236
165	-	-	710775	176178	0.8300	0.5441	1.018E-05	6.68E-06	0.2851	0.2136	0.9906	0.9585	0.94	4.15	343.5456	392.6236
180	-	-	714426	174024	0.8342	0.5375	1.024E-05	6.6E-06	0.2866	0.2111	0.9956	0.9470	0.44	5.3	343.5456	392.6236

D. PERHITUNGAN UJI ADSORPSI TIOSULFAT DENGAN TITRASI IODOMETRI

Perhitungan Kalibrasi Senyawa Sulfur:

Perhitungan kadar $S_2O_3^{2-}$ dalam media sampel dilakukan dengan menggunakan rumus Titrasi Iodometri dengan perhitungan:

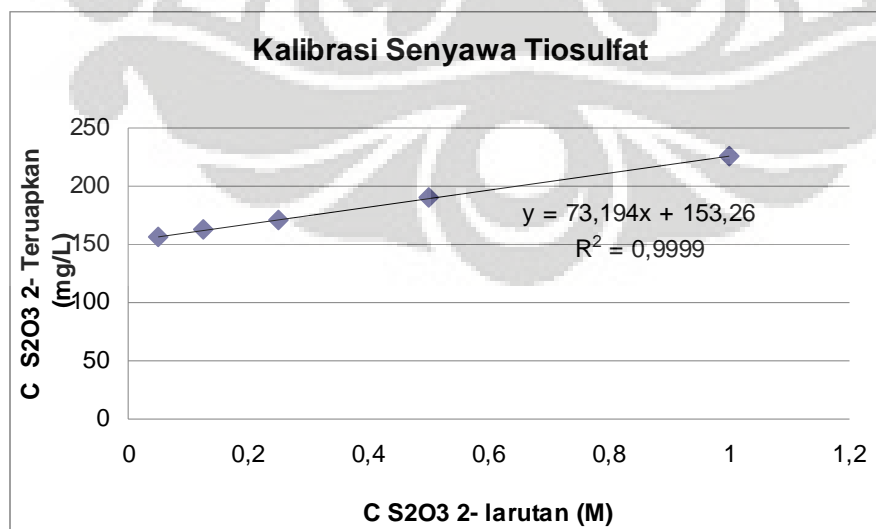
$$S_2O_3^{2-} \text{ (mg/L)} = \frac{(A \times B) - (C \times D) \times 1,12 \cdot 10^5}{ml \text{ sampel}}$$

Dengan:

A=	Volume Iodine yg terpakai (ml)
B=	Normalitas larutan Iodin
C=	Volume Tiosulfat yg terpakai (ml)
D=	Normalitas larutan Tiosulfat

DATA KALIBRASI:

C $Na_2S_2O_3$ (M)	Vol sampel (ml)	A	B	C	D	mg/L
1	125	14	0,025	3,9	0,025	226,24
0,5	125	13,5	0,025	5	0,025	190,4
0,25	125	13	0,025	5,35	0,025	171,36
0,125	125	14	0,025	6,75	0,025	162,4
0,05	125	13,5	0,025	6,5	0,025	156,8



Dari hasil kalibrasi diperoleh konsentrasi $S_2O_3^{2-}$ dalam larutan sebesar 1 M menghasilkan konsentrasi $S_2O_3^{2-}$ yang dapat teruapkan sebesar 226,24 mg/L

D.1 Data Uji Adsorpsi Udara - Tiosulfat dengan Adsorben Zeolit Alami

Masuk							
C $Na_2S_2O_3$ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
1	125	18	0,03785	7,3	0,025	446,925	30
1	125	24,5	0,03785	12	0,025	562,083	60
1	125	16	0,03785	5,3	0,025	423,898	90
1	125	21,6	0,03785	11,6	0,025	472,694	120
1	125	19	0,03785	9,6	0,025	429,318	150
1	125	18	0,03785	8,4	0,025	422,285	180

Keluar								
Tabung	C $Na_2S_2O_3$ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
1	1	125	18	0,03785	8	0,025	431,245	30
	1	125	21,5	0,03785	10,8	0,025	487,222	60
	1	125	15,5	0,03785	6,5	0,025	117,23	90
	1	125	12,3	0,03785	6,5	0,025	271,537	120
	1	125	14,2	0,03785	8,2	0,025	297,893	150
	1	125	16	0,03785	11	0,025	296,218	180
2	1	125	20,3	0,03785	11	0,025	442,046	30
	1	125	20,3	0,03785	12,5	0,025	408,446	60
	1	125	13,2	0,03785	7,2	0,025	286,38	90
	1	125	13,3	0,03785	8,5	0,025	260,651	120
	1	125	18	0,03785	11,7	0,025	348,365	150
	1	125	17	0,03785	10,2	0,025	348,051	180

Sehingga untuk menentukan kapasitas adsorpsi C/C_0 data diatas dapat diringkas sebagai berikut:

Masuk (mg/L)	Rata –rata Keluar (mg/L)	C/Co	% Adsorpsi	t (menit)
446,92	436,6	0,977	0	30
562,08	447,8	0,7967	18,4545	60
423,9	201,8	0,4761	51,2692	90
472,69	266,1	0,5629	42,3849	120
429,32	323,1	0,7527	22,958	150
422,28	322,1	0,7628	21,9243	180

D.2 Data Uji Adsorpsi Udara - Tiosulfat dengan Adsorben Zeolit Dealuminasi

Masuk							
C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
1	125	19,2	0,03	12,7	0,025	231,616	30
1	125	19	0,03	10,8	0,025	268,8	60
1	125	20,5	0,03	14,7	0,025	221,76	90
1	125	20,8	0,03	14,5	0,025	234,304	120
1	125	17,5	0,03	13	0,025	179,2	150
1	125	17,5	0,03	11,5	0,025	212,8	180
1	125	16,8	0,03	12,8	0,025	164,864	210

Keluar								
Tabung 1	C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
	1	125	16,4	0,03	11,3	0,025	187,712	30
	1	125	16,8	0,03	13	0,025	160,384	60
	1	125	18,8	0,03	15,5	0,025	158,144	90
	1	125	17,9	0,03	13,4	0,025	180,992	120
	1	125	16,5	0,03	14,3	0,025	123,2	150
	1	125	16,2	0,03	13,5	0,025	133,056	180
	1	125	19,5	0,03	17,9	0,025	123,2	210

Tabung 2	C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
	1	125	15,8	0,03	11	0,025	178,304	30
	1	125	16	0,03	10,7	0,025	190,4	60
	1	125	14,8	0,03	12,6	0,025	115,584	90
	1	125	15,6	0,03	12,2	0,025	146,048	120
	1	125	15,5	0,03	13,5	0,025	114,24	150
	1	125	18,3	0,03	16	0,025	133,504	180
	1	125	15,5	0,03	14	0,025	103,04	210

Sehingga untuk menentukan kapasitas adsorpsi C/Co data diatas dapat diringkas sebagai berikut:

Masuk (mg/L)	Rata-rata Keluar (mg/L)	C/Co	% Adsorpsi	t (menit)
231,62	183	0,7901	0	30
268,8	175,4	0,6525	17,4155	60
221,76	136,9	0,6172	21,8833	90
234,3	163,5	0,6979	11,6694	120
179,2	118,7	0,6625	16,1499	150
212,8	133,3	0,6263	20,7316	180
164,86	113,1	0,6861	13,1629	210

D.3 Data Uji Adsorpsi Udara - Tiosulfat dengan Adsorben Zeolit DK

Masuk	C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
	1	125	16,7	0,03785	8,3	0,025	380,437	30
	1	125	17	0,03785	8,4	0,025	388,371	60
	1	125	14	0,03785	7,2	0,025	313,51	90
	1	125	18,2	0,03785	15	0,025	281,228	120
	1	125	16,7	0,03785	13,4	0,025	266,197	150
	1	125	15,8	0,03785	11,8	0,025	271,515	180
	1	125	15,1	0,03785	11,2	0,025	261,215	210

		Keluar						
Tabung 1	C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
	1	125	19,4	0,03785	11,4	0,025	402,564	30
	1	125	15,5	0,03785	8	0,025	346,461	60
	1	125	15	0,03785	12,5	0,025	228,704	90
	1	125	14,6	0,03785	12,3	0,025	219,619	120
	1	125	16,5	0,03785	15,6	0,025	210,134	150
	1	125	14,9	0,03785	14	0,025	191,713	180
	1	125	14,3	0,03785	13,5	0,025	182,564	210
Tabung 2	C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
	1	125	14,8	0,03785	7,8	0,025	327,201	30
	1	125	16,2	0,03785	9,3	0,025	341,08	60
	1	125	15	0,03785	14	0,025	195,104	90
	1	125	15,8	0,03785	14,5	0,025	211,035	120
	1	125	18,6	0,03785	17	0,025	249,993	150
	1	125	14	0,03785	12	0,025	205,99	180
	1	125	13,3	0,03785	10,7	0,025	211,371	210

Sehingga untuk menentukan kapasitas adsorpsi C/Co data diatas dapat diringkas sebagai berikut:

Masuk (mg/L)	Rata-rata Keluar (mg/L)	C/Co	% Adsorpsi	t (menit)
380,44	364,9	0,9591	0	30
388,37	343,8	0,8852	7,70514	60
313,51	211,9	0,6759	29,5277	90
281,23	215,3	0,7657	20,1647	120
266,2	230,1	0,8643	9,88427	150
271,51	198,9	0,7324	23,6367	180
261,22	197	0,754	21,3846	210

D.4 Data Uji Adsorpsi Udara - Tiosulfat dengan Adsorben Zeolit DP

Masuk							
C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
1	125	21,1	0,03	12,5	0,025	287,168	30
1	125	17	0,03785	9,1	0,025	372,691	60
1	125	16,8	0,03785	8,1	0,025	388,308	90
1	125	20,5	0,03	8,8	0,025	353,92	120
1	125	14,8	0,03785	6	0,025	367,521	150
1	125	20	0,03	8,5	0,025	347,2	180
1	125	19	0,03	9,5	0,025	297,92	210

Keluar								
Tabung	C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
1	1	125	18	0,03	10,9	0,025	239,68	30
	1	125	13,2	0,03785	17	0,025	66,8595	60
	1	125	14,2	0,03785	7,3	0,025	318,053	90
	1	125	22,5	0,03	11,5	0,025	347,2	120
	1	125	14	0,03785	8	0,025	295,59	150
	1	125	19	0,03	10	0,025	286,72	180
	1	125	14,7	0,03	8,5	0,025	204,736	210
2	1	125	18,9	0,03	9	0,025	306,432	30
	1	125	15,1	0,03785	8,2	0,025	328,415	60
	1	125	13,5	0,03785	8,6	0,025	265,194	90
	1	125	19	0,03	10,8	0,025	268,8	120
	1	125	13,9	0,03785	7,5	0,025	303,399	150
	1	125	17,3	0,03	9,5	0,025	252,224	180
	1	125	16,5	0,03	9,3	0,025	235,2	210

Sehingga untuk menentukan kapasitas adsorpsi C/Co data diatas dapat diringkas sebagai berikut:

Masuk (mg/L)	Rata-rata Keluar (mg/L)	C/Co	% Adsorpsi	t (menit)
287,168	273,06	0,9509	0	30
372,691	197,64	0,5303	44,2318	60
388,308	291,62	0,751	21,0222	90
353,92	308	0,8703	8,47618	120
367,521	299,49	0,8149	14,3022	150
347,2	269,47	0,7761	18,3826	180
297,92	219,97	0,7383	22,3578	210

D.5 Data Uji Adsorpsi Udara - Tiosulfat dengan Adsorben Zeolit DPK

Masuk							
C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
1	125	19,5	0,03	13,5	0,025	221,76	30
1	125	20,4	0,03	11,6	0,025	288,512	60
1	125	20	0,03	10,8	0,025	295,68	90
1	125	19	0,03	12,5	0,025	230,72	120
1	125	17	0,03	10,6	0,025	219,52	150
1	125	18,8	0,03	13,6	0,025	200,704	180
1	125	21,5	0,03	16,6	0,025	206,08	210

		Keluar							
Tabung	1	C Na ₂ S ₂ O ₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
	1	1	125	19	0,03	14	0,025	197,12	30
	1	1	125	19	0,03	13	0,025	219,52	60
	1	1	125	15,8	0,03	11,5	0,025	167,104	90
	1	1	125	17,7	0,03	14	0,025	162,176	120
	1	1	125	17,6	0,03	13,6	0,025	168,448	150
	1	1	125	19,9	0,03	16,8	0,025	158,592	180
	1	1	125	19,6	0,03	16,4	0,025	159,488	210

Tabung 2	C Na₂S₂O₃ (M)	Vol sampel	A	B	C	D	mg/L	t
	1	125	17,4	0,03	12,8	0,025	180,992	30
	1	125	19,5	0,03	11,7	0,025	262,08	60
	1	125	17	0,03	11	0,025	210,56	90
	1	125	18	0,03	13,5	0,025	181,44	120
	1	125	15,7	0,03	12,2	0,025	148,736	150
	1	125	17,4	0,03	14	0,025	154,112	180
	1	125	21,3	0,03	18,5	0,025	158,144	210

Sehingga untuk menentukan kapasitas adsorpsi C/Co data diatas dapat diringkas sebagai berikut:

Masuk (mg/L)	Rata-rata Keluar (mg/L)	C/Co	% Adsorpsi	t (menit)
221,76	189,1	0,8525	0	30
288,51	240,8	0,8346	2,09971	60
295,68	188,8	0,6386	25,0909	90
230,72	171,8	0,7447	12,6452	120
219,52	158,6	0,7224	15,261	150
200,7	156,4	0,779	8,6217	180
206,08	158,8	0,7707	9,59531	210

E. DATA & PERHITUNGAN LAIN

1. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Udara Dengan Metode GC:

Diasumsikan udara mendekati gas ideal yang mengikuti hubungan:

$$PV = nRT$$

Dimana:

P = Tekanan Operasi kompresor (0,3 atm)

V = volume udara yang diperoleh dari hasil kalibrasi volume vs Luas area peak (ml)

n = jumlah mol (mol)

R = 0,08205 L atm/mol.K

T = suhu operasi (25 C)

Dari persamaan gas ideal diatas dapat diperoleh massa udara tiap waktu:

$$m = \text{jumlah mol} \times \text{Mr udara}$$

dengan:

Mr udara = 29 gr/mol

Kapasitas adsorpsi dinyatakan dalam C/Co yang menyatakan perbandingan massa adsorbat tiap waktu terhadap massa adsorbat mula-mula. Selain itu % adsorpsi dinyatakan dengan persentase perbandingan selisih konsentrasi adsorbat mula-mula terhadap konsentrasi adsorbat tiap waktu dengan konsentrasi adsorbat pada kondisi inisialnya.

2. Perhitungan Stoikiometri Larutan HF 3 % pembuatan Zeolit Dealuminasi

HF 40 % dari laboratorium DPK yang diperlukan untuk membuat larutan HF 3 % (Pengenceran):

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 0,4 = 2400 \times 0,03$$

$$V_1 = 180 \text{ ml}$$

3. Perhitungan Stoikiometri pada Pembuatan NH_4NO_3 0,1 N untuk sampel Zeolit DP

Padatan yang diperlukan untuk membuat larutan NH_4NO_3 0,1 N adalah:

N = jumlah mol x valensi ion NH_4^+ dalam larutan

N = (massa padatan / Berat Molekul) x valensi ion NH_4^+ dalam larutan

$$0.1 = (\text{massa padatan} / 80 \text{ gr/gmol}) \times 1$$

$$\text{Massa padatan} = 8 \text{ gram}$$

4. Perhitungan Ukuran Diameter Molekul Natrium Tiosulfat

Contoh perhitungan ukuran diameter molekul N_2 , O_2 , dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:

Dari tabel berikut:

H 0,37						
Li 1,225	Be 0,889	B 0,80	C 0,771	N 0,74	O 0,74	F 0,72
Na 1,572	Mg 1,364	Al 1,248	Si 1,173	P 1,10	S 1,04	Cl 0,994
						Br 1,142
						I 1,334

Tabel jari-jari atom beberapa unsur (dalam Angstrom dengan $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$)

$$\text{Diameter atom Na} = 3,144 \text{ \AA}$$

$$\text{Diameter atom N} = 0,74 \text{ \AA}$$

$$\text{Diameter atom O} = 1,48 \text{ \AA}$$

$$\text{Diameter atom S} = 2,08 \text{ \AA}$$

A. diameter senyawa Nitrogen adalah:

$$= (0,74 \times 2)$$

$$= 1,48 \text{ \AA} = 0,148 \text{ nm}$$

B. diameter senyawa Oksigen adalah:

$$= (1,48 \times 2)$$

$$= 2,96 \text{ \AA} = 0,296 \text{ nm}$$

C. diameter senyawa $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ adalah:

$$= (3,144 \times 2) + (2,08 \times 2) + (1,48 \times 3)$$

$$= (6,288 + 4,16 + 4,44)$$

$$= 14,888 \text{ \AA} = 1,488 \text{ nm}$$

5. Sistem Periodik Unsur-Unsur

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* *	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** **	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
* Lanthanides				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

This common arrangement of the periodic table separates the lanthanides and actinides from other elements. The [Wide Periodic Table](#) incorporates the *f-block*. The [Extended Periodic Table](#) adds the 8th and 9th periods, incorporating the *f-block* and adding the theoretical *g-block*.

Element categories in the periodic table									
Metals					Metalloids	Nonmetals			Unknown
Alkali metals	Alkaline	Inner transition elements	Transition elements	Other metals		Other nonmetals	Halogens	Noble gases	
Atomic number colors show state at standard temperature and pressure (0 °C and 1 atm) Solids Liquids Gases Unknown					Borders show natural occurrence Primordial From decay Synthetic Undiscovered				