

**STUDI KINETIKA ADSORPSI MERKURI (II)  
PADA BIOMASSA  
DAUN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
YANG DIIMMOBILISASI PADA MATRIKS POLISILIKAT**

**SKRIPSI**

Oleh:

**HALIMATUR ROSYIDAH  
NIM. 03530004**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MALANG  
MALANG  
2008**

**STUDI KINETIKA ADSORPSI MERKURI (II)  
PADA BIOMASSA  
DAUN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
YANG DIIMMOBILISASI PADA MATRIKS POLISILIKAT**

**SKRIPSI**

Diajukan Kepada:

Universitas Islam Negeri Malang

Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:

**HALIMATUR ROSYIDAH  
NIM. 03530004**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MALANG  
2008**

**STUDI KINETIKA ADSORPSI MERKURI (II)  
PADA BIOMASSA  
DAUN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
YANG DIIMMOBILISASI PADA MATRIKS POLISILIKAT**

**SKRIPSI**

**Oleh :**

**HALIMATUR ROSYIDAH  
NIM : 03530004**

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama

Pembimbing Agama

Himmatul Barroroh, M.Si  
NIP. 150 327 246

Munirul Abidin, M.Ag  
NIP. 150 321 634

Mengetahui

Ketua Jurusan Kimia  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Malang

Diana Candra Dewi, M.Si  
NIP. 150 327 251

**STUDI KINETIKA ADSORPSI MERKURI (II)  
PADA BIOMASSA  
DAUN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)  
YANG DIIMMOBILISASI PADA MATRIKS POLISILIKAT**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**HALIMATUR ROSYIDAH  
NIM. 03530004**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal 31 Juli 2008

Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
1. Penguji utama : Rini Nafsiati Astuti, M.Pd NIP. 150 327 252	( )
2. Ketua Penguji : Akyunul Jannah, S.Si., M.P NIP. 150 368 797	( )
3. Sekretaris Penguji : Himmatul Barroroh, M.Si NIP. 150 327 246	( )
4. Anggota Penguji : Ahmad Barizi, MA NIP. 150 283 991	( )

Mengetahui dan Mengesahkan  
Ketua Jurusan Kimia  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Malang

Diana Candra Dewi, M.Si  
NIP. 150 327 251

## MOTTO

*“...Dan janganlah membuat kerusakan di (muka) bumi, sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang membuat kerusakan”  
(Al-Qashash: 77)*

Suatu kehidupan yang penuh kesalahan  
tak hanya lebih berharga namun  
juga lebih berguna  
dibandingkan hidup tanpa melakukan apapun.  
*“George Bernard Shaw”*

Seribu Kata Mutiara Tidak Ada Artinya  
Dibandingkan Dengan Satu Kata Orang Tua

## PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan karya Ini sebagai rasa syukurku kehadirat Allah Swt atas segala rahmad,taufik serta hidayah-Nya kepada baginda Rasulullah Saw, yang telah membawa kita ke jalan yang terang yakni Addinul Islam*

*Bapakku (Bpk. Mathori) dan ibukku (Ibu. Siti Muzayyanah) yang akan selalu aku sayangi dan aku cintai, yang telah melahirkan dan mengasuh serta mendidik sejak aku kecil sampai dewasa sehingga aku mengerti makna dari kehidupan dan yang tak pernah berhenti mendoakanku dalam setiap alunan doanya.*

*Bagiku engkaulah orang tua idaman*

*Keluarga besarku,,  
Makku, Mbak Liul, Om Muhtar, Mas Udien,  
terimakasih atas dukungan dan semangatnya selama ini.  
Dan tak lupa untuk keponakan-keponakanku,  
Si Gendut Najma Afrahun Nufus serta Si Imuet Safira Faradisa  
makasih untuk keceriaan dan senyumannya,  
"Jangan berantem terus dan jadilah anak  
yang menjadi kebanggan kita semua".*

*Buat seseorang yang telah mengajarkanku arti sebuah "cinta",  
dan yang akan menjadi pendampingku di indahnya surga...*

## *Special Thanks For:*

*Dosen-dosen kimia UIN Malang:*

*Ibu Diana Candra Dewi, M.Si, selaku rektor Kimia UIN Malang dan dosen waliku. Ibu Himmatul Barroroh, M.Si, selaku sekrur kimia UIN Malang dan dosen pembimbing skripsiku.*

*Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si konsultan skripsiku.*

*Ibu Rini Nafsiati Astuti, M.Pd, Ibu Eny Yulianti, M.si.*

*Ibu Akyunul Jannah, S.Si. M.P, Pak Tri Kustono Adi (yang lagi studi, cepet balik pak), Pak Ghanaim Fasya, S.Si and Pak Anton, M.Si.*

*Makasih pak, buk atas transferan ilmunya dan bimbingan.*

*Buat Group Enceng Gondok (Jeng Lilik, Jeng Tike, Abi dan Susi ) makasih atas kerja samanya*

*Teman-temanku (Eva, Hida, Nita, Liva,) makasih atas semangat dan guyonannya, tanpa kalian dunia ini akan sepi.*

*Teman-teman Kimia Angkatan '03 (umi, cicik, lilik R, Nila, dewi, abi, fara, atul, liva, taufik, wasil, susi, nain, ilil, li2k.m.k, a'yun, dewi a.t.a, diah, rizki, fida, ika, nurul, uswatun, susilowati, tamam) atas kebersamaannya selama ini.*

*Sahabat-sahabatku( lilik, tike, dewi) aku tak akan melupakan saat-saat indah bersama kalian n makasih telah menjadi sahabat-sahabat terbaikku.*

*Teman-teman kos sunan ampel 05/1 makasih telah mengisi hari-hariku dengan penuh suka dan duka.*

***" Rasa Persahabatan Ini Tak Akan Hilang Walau Kita Sudah Tak Lagi Bersama".***

*Mas Dhori yang aku sayangi dan menyayangiku, makasih atas kesabarannya mendengarkan semua keluh kesahku dan mengisi hari-hariku dengan penuh cinta.....*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur selalu dipanjatkan ke Hadirat Allah Swt atas segala limpahan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul: “ *Studi Kinetika Adsorpsi Merkuri pada Biomassa Daun Enceng Gondok (Eichhornia crassipes) yang Diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat*”. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada baginda Rasulullah Saw yang telah membawa pancaran cahaya pengetahuan dan kebenaran, sehingga sampai detik ini masih mengarungi hidup dengan landasan iman dan islam.

Seiring dengan terselesaikannya skripsi ini, tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan kepada semua pihak yang telah memberikan arahan, bimbingan dan motivasi kepada penulis. Rasa terimakasih serta penghargaan, penulis sampaikan kepada yang terhormat :

1. Prof. Dr. H. Imam Suprayogo, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
2. Prof. Drs. Sutiman Bambang Sumitro, SU., D.Sc selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi (UIN) Malang.
3. Diana Candra Dewi, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi (UIN) Malang.
4. Himmatul Barroroh, M.Si selaku dosen pembimbing utama yang dengan penuh kesabaran selalu membimbing, mengarahkan dan meluangkan

waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Munirul Abidin, M.Ag selaku dosen pembimbing agama yang selalu memberikan bimbingan dan pengarahan tentang ayat-ayat yang berhubungan dengan skripsi ini.
6. Elok Kamilah Hayati, M.Si, selaku konsultan yang selalu memberikan bimbingan dan pengarahan serta motivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Rini Nafsiati Astuti, M.Pd, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
8. Akyunul Jannah, S.Si., M.P selaku dosen penguji yang telah memberikan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
9. Ahmad Barizi, M.A selaku penguji agama yang telah memberikan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
10. Semua Dosen dan Staf Pegawai Kantor Jurusan Kimia, atas semua bantuan, dukungannya dan transferan ilmunya selama masa kuliah sampai pada penyelesaian skripsi ini.
11. Kepala beserta pengelola lab. Kimia UIN Malang yang telah memberikan fasilitasnya selama pelaksanaan penelitian.
12. Kepala beserta pengelola lab. Kimia Fisika Universitas Brawijaya, Laboratorium Kimia Organik dan Anorganik Universitas Brawijaya yang telah memberikan fasilitas selama pelaksanaan penelitian.

13. Usman Pagalay, M.Si yang telah memberikan ilmu turunan matematikanya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
14. Kedua orang tuaku, dan keluarga besarku, yang telah memberikan dukungan, kasih sayang, dan tulus do'anya yang selalu mengalun setiap saat sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
15. Eichhornia crassipes Team ( Lilik, Tika, Susi, dan Abi) tarima kasih atas kerja sama dan motivasinya.
16. Teman dan sahabat-sahabatku kimia angkatan 2003, terimakasih atas bantuannya, aku tak akan melupakan kebersamaan kita selama ini.
17. Semua pihak yang telah membantu demi terselesaikannya skripsi ini.

Tiada kata yang pantas penulis ucapkan selain do'a semoga apa yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal yang diterima di sisi Allah Swt dan imbalan yang semestinya. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan pada penulis pada khususnya. Amin.

Malang, Juli 2008

Penulis

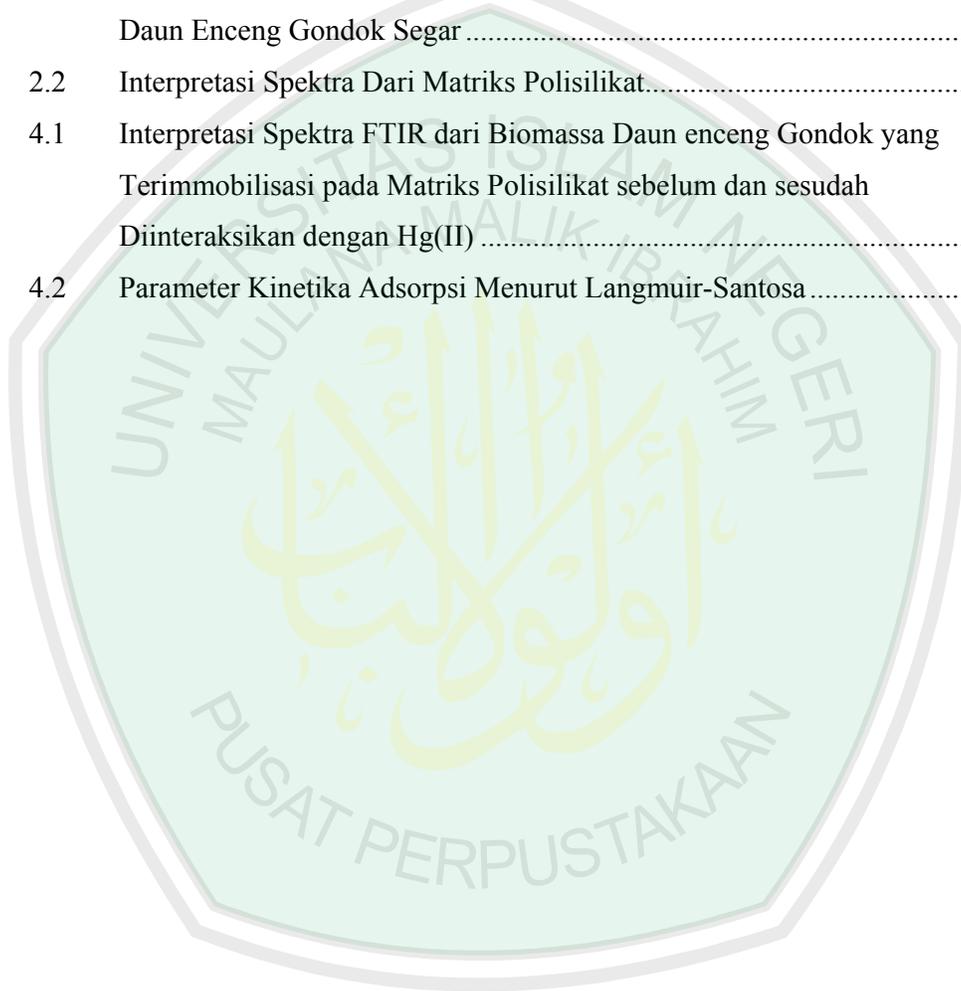
## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
ABSTRAK.....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1 Logam Berat .....	8
2.2 Merkuri .....	11
2.3 Toksisitas Merkuri .....	14
2.4 Biomassa.....	15
2.4.1 Biomassa Daun Enceng Gondok .....	16
2.5 Protein.....	21
2.5.1 Sifat-Sifat Dari Protein .....	23
2.5.1.1 Ionisasi .....	23
2.5.1.2 Denaturasi Protein.....	23
2.6 Adsorpsi .....	24
2.7 Kinetika Adsorpsi .....	27
2.7.1 Model Kinetika Adsorpsi Menurut Langmuir .....	28
2.7.2 Model Kinetika Adsorpsi Menurut Langmuir-Hinselwood-Santosa .....	34
2.8 Immobilisasi Biomassa Pada Matriks Polisilikat.....	37
2.9 Spektroskopi Infra Merah.....	39
2.10 Spektroskopi Serapan Atom.....	42
2.11 Kerangka Konseptual .....	43
2.11.1 Model Kinetika Langmuir-Santosa .....	47
2.11.2 Model Kinetika dengan Model Keseimbangan Freundlich.....	48
2.12 Hipotesa Penelitian .....	49

<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian ..... 50
3.2	Bahan-bahan ..... 50
3.2.1	Bahan Penelitian ..... 50
3.2.2	Bahan Kimia ..... 50
3.3	Alat ..... 50
3.4	Tahapan Penelitian ..... 51
3.5	Cara Kerja ..... 51
3.5.1	Persiapan Biomassa Daun enceng Gondok ..... 51
3.5.2	Immobilisasi Biomassa pada Polisilikat ..... 52
3.5.3	Karakterisasi Adsorben Daun Enceng Gondok setelah Diimmobilisasi dengan Matriks Polisilikat ..... 52
3.5.4	Penetapan Model Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) oleh Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dengan Variasi Waktu Kontak ..... 53
3.5.5	Karakterisasi Adsorben Daun Enceng Gondok yang telah Diimmobilisasi dan Diinteraksikan dengan Ion $Hg^{2+}$ ..... 53
3.6	Penentuan Konsentrasi Merkuri(II) dengan Kurva Standar ..... 53
3.7	Analisis Spektroskopi Infra Merah ..... 54
3.8	Penentuan Model Kinetika Adsorpsi ..... 55
3.8.1	Model Kinetika Adsorpsi Langmuir – Santosa ..... 55
3.8.2	Model Kinetika Adsorpsi dengan Model Isoterm Adsorpsi Freundlich ..... 56
3.8.3	Model Kinetika Sederhana ..... 58
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1	Karakterisasi Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat sebelum dan sesudah Direaksikan dengan Ion Merkuri(II) ..... 59
4.2	Penentuan Model Kinetika Adsorpsi Pada Biomassa Daun Enceng Gondok yang Diimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat ..... 68
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1	Kesimpulan ..... 77
5.2	Saran ..... 77
<b>DAFTAR PUSTAKA ..... 78</b>	
<b>LAMPIRAN ..... 83</b>	

## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
2.1	Bahan-Bahan yang Terkandung dalam Daun Enceng Gondok Segar .....	21
2.2	Interpretasi Spektra Dari Matriks Polisilikat.....	42
4.1	Interpretasi Spektra FTIR dari Biomassa Daun enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat sebelum dan sesudah Diinteraksikan dengan Hg(II) .....	62
4.2	Parameter Kinetika Adsorpsi Menurut Langmuir-Santosa .....	74



## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
2.1	Tanaman Enceng Gondok .....	19
2.2	Struktur Umum Asam Amino .....	22
2.3	Perubahan Muatan pada Asam Amino .....	22
2.4	Reaksi Pembentukan Polimer Polisilikat .....	39
2.5	Kompenen Spektrofotometri Serapan Atom .....	43
4.1	Spektra FTIR dari Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat .....	61
4.2	Spektra FTIR dari Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat setelah Diinteraksikan dengan Logam Hg (II) .....	61
4.3	Struktur Dugaan dari Biomassa yang Terjebak dalam Matriks Polisilikat .....	64
4.4	Struktur Dugaan Ikatan antara Hg (II) dengan O-H dari Biomassa dan O-H dari Si-OH .....	66
4.5	Struktur Dugaan Interaksi antara Si-O-Si dengan Hg (II) .....	67
4.6	Pengaruh Waktu Interaksi terhadap Adsorpsi Hg (II) pada Adsorben Daun Enceng Gondok yang Diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat .....	68
4.7	Grafik dari Model Kinetika Langmuir-Santosa .....	70
4.8	Grafik dari Model Kinetika Adsorpsi dengan Model Isoterm Adsorpsi Freundlich .....	71
4.9	Model Kinetika Langmuir-Santosa Tahap I (0-10) .....	72
4.10	Model Kinetika Langmuir-Santosa Tahap II (5-30) .....	73
4.11	Model Kinetika Langmuir-Santosa Tahap III (60-150) .....	73

## DAFTAR LAMPIRAN

	Lampiran	Halaman
Lampiran 1	Skema Kerja.....	83
Lampiran 2	Preparasi Larutan.....	86
Lampiran 3	Gambar Spektra Hasil FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat sebelum dan sesudah Diinteraksikan dengan Merkuri (II).....	89
Lampiran 4	Penurunan Rumusan Model Kinetika Adsorpsi dengan Menggunakan $\theta_1$ dari Persamaan Isoterm Freundlich.....	91
Lampiran 5	Data Pengaruh Waktu Interaksi terhadap Adsorpsi $Hg^{2+}$ pada Adsorben Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat.....	94
Lampiran 6	Perhitungan Tetapan Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi (K) Untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok yang Diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat menggunakan Model Kinetika menurut Langmuir-Santosa.....	95
Lampiran 7	Perhitungan Tetapan Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi (K) untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok yang Diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat Menggunakan $\theta_1$ dari Isoterm Freundlich.....	96
Lampiran 8	Perhitungan Tetapan Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan (K) untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok menggunakan Model Kinetika Sederhana dengan Analisa menggunakan Model Kinetika Langmuir-Santosa .....	97
Lampiran 9	Gambar Hasil Penelitian.....	99

## ABSTRAK

Rosyidah, Halimatur., 2008. **Studi Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Yang Diimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat.**

Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.

Pembimbing Utama : Himmatul Barroroh, M.Si,

Pembimbing Agama : Munirul Abidin, M. Ag

**Kata Kunci:** Kinetika, Adsorpsi, Merkuri (II), Biomassa, Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*), Immobilisasi, Matriks Polisilikat.

Merkuri merupakan salah satu logam yang banyak manfaatnya, tetapi akan juga membahayakan lingkungan dan kesehatan jika penggunaannya melebihi ambang batas. Selain merkuri logam yang dapat membahayakan dan mempunyai banyak manfaat adalah besi. Firman Allah: “*Dan Kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu)*” (Qs. al-Hadid/57: 25). Metode alternatif yang digunakan untuk mengurangi pencemaran oleh merkuri (II), salah satunya melalui metode adsorpsi dengan biomassa daun enceng gondok yang diimmobilisasi. Pengikatan adsorbat oleh adsorben merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan biomassa daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat dalam proses adsorpsi.

Interaksi antara biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat ditentukan dengan menggunakan FTIR. Penentuan model kinetika adsorpsi pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dilakukan dengan cara menginteraksikan 25 ml larutan  $\text{HgCl}_2$  dengan biomassa yang telah terimmobilisasi dengan variasi waktu 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 menit pada suhu 27 °C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gugus fungsi yang berinteraksi dengan  $\text{Hg}^{2+}$  pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat adalah O-H dari Si-OH dan O-H dari biomassa, yang ditandai adanya kenaikan intensitas pada bilangan gelombang 3508,27  $\text{cm}^{-1}$ . Pergeseran yang terjadi pada bilangan gelombang 2955,71  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan daerah C-H juga dimungkinkan karena adanya interaksi antara logam  $\text{Hg}^{2+}$  dengan C-H. Adanya perubahan vibrasi pada bilangan gelombang 620,07  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 1088,74  $\text{cm}^{-1}$  dari vibrasi ulur Si-O-Si simetri menjadi vibrasi ulur Si-O-Si asimetri juga dimungkinkan karena adanya interaksi antara logam  $\text{Hg}^{2+}$  dengan Si-O-Si. Model kinetika adsorpsi pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat mengikuti model kinetika Langmuir-Santosa dengan membagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap I, II, III dengan nilai konstanta laju  $288 \times 10^{-4}$  pada menit 0 sampai menit ke 10, sedangkan pada menit ke 5 sampai ke 30 mempunyai konstanta laju yaitu  $58 \times 10^{-4}$ , dan pada menit ke 60 sampai 150 konstanta lajunya adalah  $3 \times 10^{-4}$ .

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kehidupan makhluk hidup di muka bumi, baik tumbuhan, binatang maupun manusia mempunyai hubungan simbiosis dan saling mempengaruhi antara satu dengan yang lain dalam suatu tatanan lingkungan hidup. Dalam hubungan ini dapat diketahui bahwa tatanan lingkungan hidup yang diciptakan oleh Tuhan itu mempunyai hukum keseimbangan.

Keseimbangan dalam suatu lingkungan akan tetap berlangsung selama tidak ada gangguan dalam bentuk bencana, baik yang disebabkan oleh kegiatan manusia maupun dari proses alam. Tetapi pada kenyataannya, keseimbangan lingkungan rusak akibat dari ulah dan tingkah laku manusia. Fakta ini sudah diungkapkan dalam al-Qur'an surat ar-Ruum ayat 41 (Gani, et al.,1986):

لَعَلَّهُمْ عَمَلُوا الَّذِي بَعْضَ لِيُذِيقَهُم النَّاسِ أَيِّدِي كَسَبَتْ بِمَا وَالْبَحْرِ الْبَرِّ فِي الْفَسَادِ ظَهَرَ

يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya:“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, sehingga Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”.

Kasus Minamata di pantai barat Pulau Kyusu Jepang Selatan yang terjadi pada tahun 1956-1960 adalah salah satu contohnya, akibat dari penggunaan merkuri atau Hydragyricum yang tidak terkontrol dalam proses produksi pembuatan pupuk kimia *Chisso Co Ltd* serta pembuangan limbah yang sembarangan tanpa pengolahan terlebih dahulu, lebih dari 3.000 penduduk meninggal akibat mengkonsumsi ikan yang terkontaminasi merkuri dari limbah pabrik pupuk tersebut (Martaningtyas, 2004).

Logam-logam berat, seperti arsen (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg), sianida (CN) akan menjadi ancaman bagi daerah sekitarnya ketika logam-logam tersebut terurai di alam (Martaningtyas, 2004).

Logam merkuri merupakan logam yang sangat penting dalam industri. Dalam proses industri logam merkuri banyak digunakan, seperti untuk termometer, bahan penambal gigi, baterai, pembuatan cat dan obat gangguan ginjal (Palar, 1994), karena logam merkuri merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cairan dalam suhu kamar (25°C), mempunyai titik beku yang paling rendah (-39°C), mempunyai kecenderungan menguap lebih besar, mudah bercampur dengan logam-logam lain membentuk logam campuran, mampu mengalirkan listrik baik dalam tegangan tinggi maupun tegangan rendah (Alfian, 2006).

Merkuri akan membahayakan lingkungan jika jumlah konsentrasi merkuri yang berada di lingkungan melebihi standar dari Peraturan Pemerintah No.82/2001 tentang kriteria mutu air yaitu 0,001 ppm (Widhiyatna, 2005). Daya racun yang dimiliki dapat bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga

proses metabolisme tubuh terputus. Selain itu merkuri juga akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia (Putra dan Johan, 2007).

Keberadaan residu merkuri di lingkungan air juga dapat terakumulasi melalui proses biomagnifikasi yang bekerja di lautan. Konsentrasi merkuri yang masuk akan terus meningkat seiring dengan pembuangan hasil samping dari produk pabrik. Merkuri yang masuk ke dalam tubuh biota laut akan ikut masuk termakan oleh manusia bersamaan dengan makanan yang diambil dari perairan. Biomagnifikasi merkuri tersebut akan membahayakan ekosistem dan kesehatan manusia sebagai konsumen (Palar, 1994).

Mengingat dampak negatif yang disebabkan oleh logam berat sangat banyak, maka sebagai satu-satunya makhluk yang mempunyai anugerah berupa akal, manusia mempunyai tugas yaitu mengembalikan atau memulihkan kembali keseimbangan lingkungan hidup, mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh logam berat khususnya merkuri agar keseimbangan lingkungan kembali baik. Usaha yang dapat dilakukan untuk mengembalikan keseimbangan lingkungan seperti semula, yaitu dengan mengolah terlebih dahulu limbah yang mengandung logam berat melebihi standar normal sebelum logam tersebut dibuang ke lingkungan sehingga tidak akan membahayakan lingkungan.

Metode yang paling umum dipakai untuk mengurangi jumlah merkuri adalah adsorpsi, salah satunya adalah adsorpsi dengan biomassa. Metode adsorpsi dengan biomassa merupakan metode alternatif yang tidak membutuhkan biaya yang terlalu besar dan efektif untuk mengadsorpsi ion logam dari larutan dengan

menggunakan biomassa tumbuhan yang telah mati (Gamez., et al., 1999) dalam Lestari (2006). Penggunaan bahan organik sebagai adsorben saat ini banyak dikembangkan karena tehnik-tehnik ini tidak memerlukan biaya tinggi dan sangat efektif untuk menghilangkan kontaminan logam-logam berat di lingkungan (Saleh, 2004).

Biomassa tumbuhan yang telah mati dapat digunakan untuk mengikat ion logam melalui adsorpsi permukaan, proses ini merupakan proses pasif karena partikel ion logam diikat pada dinding sel tumbuhan ketika tumbuhan telah mati (Gamez., et al., 1999 dalam Lestari 2006).

Biomassa yang berasal dari tumbuhan yang telah mati dan dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat salah satunya adalah tumbuhan alfalfa, tumbuhan ini mampu mengadsorpsi sejumlah ion logam seperti: Cu(II), Ni(II), Cd(II), merkuri, Sn(II) dan Zn(II) dalam media air (Gardea-torresdey., et al., 1997).

Tumbuhan enceng gondok yang selama ini dikenal sebagai tumbuhan gulma atau tumbuhan pengganggu ternyata mempunyai banyak manfaat untuk kehidupan manusia, yaitu sebagai bahan yang dapat mengurangi pencemaran di lingkungan. Firman Allah dalam al-Qur'an surat Shaad ayat 27 :

بَطِلًا بَيْنَهُمَا وَمَا وَالْأَرْضَ السَّمَاءَ خَلَقْنَا وَمَا

Artinya: “Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah”.

Penelitian lain melaporkan bahwa biomassa daun enceng gondok yang telah mati juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat Hg sebanyak 9,497 mg/g dengan pH optimumnya adalah 6 dalam waktu pengocokan 60 menit dan konsentrasi optimum 80 mg/mol (Al-Ayubi, 2008), kemudian dilaporkan juga dari hasil penelitian Khalifah (2008) yang menggunakan daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat pada kondisi pH 6 dengan konsentrasi optimumnya 80 mg/mol mampu menyerap  $\text{Hg}^{2+}$  sebanyak 8,019 mg/g.

Pengikatan logam dengan biomassa tumbuhan yang telah mati mempunyai banyak kelemahan, diantaranya yaitu mudah terdegradasi oleh mikroba lain sehingga biomassa yang didapatkan cepat rusak (Putra, 2007), untuk mengatasi masalah-masalah itu maka dilakukan immobilisasi pada biomassa tumbuhan dengan menggunakan matriks polisilikat.

Silika gel adalah salah satu adsorben yang mempunyai kelebihan antara lain sangat inert, hidrofilik, mudah dimodifikasi dengan bahan lain. Menurut Nuryono dan Narsito (2004) dalam Alviera (2006) partikel silika dapat dipandang sebagai padatan asam yang memiliki gugus hidroksil di permukaan.

Gel silika secara umum dibuat dengan menambahkan asam ke dalam larutan natrium polisilikat. Asam monosilikat hasil dari reaksi ini akan membentuk suatu polimer dengan sistem tiga dimensi menjadi suatu matriks polisilikat (Hennisch, 1988 dalam Alviera, 2006).

Kecepatan penyerapan logam berat oleh adsorben mempunyai peranan yang sangat penting dalam memperkirakan efisiensi waktu proses adsorpsi. Kecepatan biomassa yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dalam

menyerap merkuri (II) dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah proses pengikatan adsorbat oleh adsorben, jika tahap tersebut merupakan tahap penentu laju. Maka dalam penelitian ini akan dipelajari kinetika adsorpsi merkuri pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat. Sebagai data pendukung diteliti juga karakter ikatan antara  $Hg^{2+}$  dengan situs aktif biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode spektroskopi Infra Merah.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan yaitu :

1. Bagaimana karakter vibrasi IR dalam ikatan molekul yang terdapat dalam adsorben daun enceng gondok setelah diimmobilisasi dengan matriks polisilikat dan setelah adsorben terimmobilisasi direaksikan dengan merkuri (II)?
2. Bagaimanakah model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik ikatan antara adsorben daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan merkuri (II).
2. Mengetahui model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Biomassa yang digunakan adalah daun enceng gondok yang berasal dari desa Nanggung kecamatan Prambon kabupaten Nganjuk. Daun yang digunakan yaitu yang berwarna hijau tua, licin dan mengkilat.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan enceng gondok, karena selama ini enceng gondok dikenal sebagai gulma yang mengganggu di perairan.
2. Dapat memberikan informasi tentang pengolahan limbah yang tercemar logam berat terutama merkuri (II) dengan menggunakan biomassa daun enceng gondok.
3. Dapat memberi informasi tentang kecepatan biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dalam mengikat merkuri (II).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Logam Berat**

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam yang lain. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup (Palar, 1994).

Unsur yang termasuk dalam logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas yang lebih dari  $5 \text{ gr/cm}^3$ . Ditinjau dari segi potensi pencemaran dalam lingkungan, logam berat dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu (Sugiarto, 1995 dalam Sudarmaji, 2005) :

1. Logam berat yang bersifat racun kritis adalah Na, K, Mg, Ca, Fe, S, C, P, Cl, Br, Li, Sr, Al dan Si
2. Logam berat beracun tapi jarang ditemukan adalah Ti, Zr, Ta, Rh, Ir, Ru, dan Ba
3. Logam berat yang sangat beracun dan relatif sering ditemukan adalah Be, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Te, Ag, Pb, Pt, Cd, Hg, Sb, Cr, dan Bi.

Besi merupakan salah satu logam yang dinyatakan jelas dalam al-Qur'an. Ada banyak ayat dalam al-Qur'an yang menyebutkan salah satu unsur kimia ini. Dalam al-Qur'an besi disebut sebagai al-hadid (Dewi, 2006), misalnya dalam surat al-Hadid: 25 yang berbunyi:

بِالْقِسْطِ النَّاسُ لِيُقِيمُوا وَالْمِيزَانَ الْكِتَابَ مَعَهُمْ وَأَنْزَلْنَا بِالْبَيِّنَاتِ رُسُلَنَا أَرْسَلْنَا لَقَدْ  
اللَّهُ إِنَّ بِالْغَيْبِ وَرُسُلَهُ يَنْصُرُهُ مَنْ اللَّهُ وَلِيَعْلَمَ لِلنَّاسِ وَمَنْفَعٌ شَدِيدٌ بَأْسٌ فِيهِ الْحَدِيدَ وَأَنْزَلْنَا  
عَزِيزٌ قَوِيٌّ

Artinya: *Sesungguhnya kami Telah mengutus rasul-rasul kami dengan membawa bukti-bukti yang nyata dan Telah kami turunkan bersama mereka Al Kitab dan neraca (keadilan) supaya manusia dapat melaksanakan keadilan. dan kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu) dan supaya Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)Nya dan rasul-rasul-Nya padahal Allah tidak dilihatnya. Sesungguhnya Allah Maha Kuat lagi Maha Perkasa.*

Surat al-Hadid pada umumnya menerangkan hal-hal yang berhubungan dengan anjuran bernaikah dan membelanjakan harta di jalan Allah. Surat ini juga menerangkan bahwa Allah mengutus para Nabi dengan membawa agama untuk kebahagiaan hidup manusia, di samping itu menciptakan besi yang bermanfaat bagi manusia dalam kehidupannya dan untuk mempertahankan agama yang dibawa oleh rasul-rasul itu. Nama surat ini diambil dari perkataan "al-Hadid", yang terdapat pada ayat 25 (al-Qur'an terjemah, 1990).

Kata *wa-anzalna* diartikan dengan "dan kami ciptakan" oleh beberapa penerjemah al-Quran. Arti kata *anzalna* yang sebenarnya adalah "kami turunkan", yang dapat diartikan bahwasanya besi ini dikaruniakan oleh Allah untuk memberikan manfaat kepada manusia. Akan tetapi melihat makna sebenarnya dari kata diturunkan (secara fisik dari langit), dapat diambil suatu keterangan yang sangat berharga dari mana sesungguhnya besi itu berasal (Dewi, 2006).

Ilmuwan seperti Profesor Armstrong dari NASA atau Mohamed Asadi berpandangan bahwa "memang besi diturunkan dari langit". Sains memberikan informasi kepada kita bahwa besi termasuk logam berat tidak dapat dihasilkan oleh bumi itu sendiri. Energi sistem tata surya kita tidak cukup untuk memproduksi elemen besi. Perkiraan paling baik, energi yang dibutuhkan adalah empat kali energi sistem matahari kita, dengan demikian besi hanya dapat dihasilkan oleh suatu bintang yang jauh lebih besar daripada matahari, dengan suhu ratusan juta derajat Celsius. Kemudian meledak dahsyat sebagai *nova* atau *supernova*, dan hasilnya menyebar di angkasa sebagai meteorit yang mengandung besi, melayang di angkasa sampai tertarik oleh gravitasi bumi, di awal terbentuknya bumi miliaran tahun yang lalu (Alexandera, 2007).

Kata **فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنْفَعٌ لِلنَّاسِ** yang artinya padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu). Dalam Tafsir al-Muntakhab dikemukakan bahwa ayat ini menjelaskan bahwa besi mempunyai kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia dan juga dapat membahayakan manusia. Lempengan besi sangat kuat dan tahan menghadapi panas, kekaratan, dan kerusakan, maka dari itu besi dapat digunakan sebagai bahan pembuatan senjata yang begitu dahsyat kekuatannya dan sebagai bahan pembuatan berbagai alat-alat yang berguna dalam kehidupan manusia (Shihab, 2002). Besi merupakan logam yang paling banyak digunakan di antara semua logam, misalnya untuk kereta, badan kapal bagi kapal besar, dan komponen struktur bagi bangunan. Dalam tubuh manusia besi berperan pada

pembentukan sel darah merah yang sangat penting menunjang sistem metabolisme tubuh (Dewi, 2006). Tetapi jika kadar besi yang ada dalam tubuh kita banyak maka akan menyebabkan keracunan, karena ketika logam berat sudah masuk dalam tubuh, elemen ini akan menggantikan tempat mineral-mineral lain yang dibutuhkan tubuh seperti seng, tembaga, magnesium, dan kalsium, dan unsur logam berat tersebut akan beredar dalam sistem fungsi organ (Martaningtyas, 2004).

Unsur logam banyak ditemukan secara luas di seluruh permukaan bumi. Mulai dari tanah dan batuan, badan air, bahkan pada lapisan atmosfer yang menyelimuti bumi. Umumnya logam-logam di alam ditemukan dalam bentuk lain dengan unsur lain, dan sangat jarang sekali ditemukan dalam bentuk elemen tunggal. Misalnya: sinabar (HgS), Pirit (FeS) yang terdapat pada batuan (Palar, 1994).

## **2.2 Merkuri**

Merkuri juga termasuk dalam logam berat sama dengan besi yang mempunyai banyak manfaat dan disamping itu juga dapat merugikan manusia dan lingkungan sekitarnya. Diantara semua unsur logam berat, merkuri menduduki urutan pertama dalam sifat racunnya, dibandingkan dengan logam berat lainnya, kemudian diikuti oleh logam berat yang lain Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn (Sudarmaji, 2005).

Merkuri merupakan salah satu unsur yang terdistribusi pada lapisan kerak bumi dengan kelimpahan rata-rata  $\leq 500 \mu\text{g} / \text{kg}$  (Townshend, 1995 dalam Rossa, 2004). Firman Allah dalam Qs. Saba': 2 yang berbunyi:

الرَّحِيمُ وَهُوَ فِيهَا يَعْرُجُ وَمَا السَّمَاءُ مِنْ يَنْزِلُ وَمَا مِنْهَا تَخْرُجُ وَمَا الْأَرْضُ فِي يَلِجُ مَا يَعْلَمُ  
الْغَفُورُ ﴿٢﴾

Artinya: *"Dia mengetahui apa yang masuk ke dalam bumi, apa yang ke luar daripadanya, apa yang turun dari langit dan apa yang naik kepadanya. dan Dia-lah yang Maha Penyayang lagi Maha Pengampun"*.

Ayat diatas menjelaskan bahwa hanya Allah yang mengetahui hal-hal yang terjadi di dalam bola bumi dan gejala-gejala yang ditimbulkannya yang berpengaruh pada permukaannya. Islam menuntut akal manusia untk mengenal, dan memahami alam raya dengan menyaksikan, merenungkan, dan melakukan penelitian untuk menemukan fakta dan kebenaran (Pasya, 2004).

Para ahli menerangkan bahwa ketebalan kulit bumi berkisar antara 5-60 kilometer, kadar ketebalan kulit bumi yang dikehendaki oleh Allah seperti itu merupakan sesuatu yang mutlak untuk menjamin kehidupan. Para ahli juga membagi bagian dalam bumi (setelah lapisan kulit) menjadi dua bagian utama. Bagian yang pertama merupakan lapisan batu keras memanjang di bawah kulit bumi ke arah dalam sekitar 3.000 kilometer. Pada bagian ini terdapat pusat gempa yang sering mengguncang permukaan bumi. Bagian kedua disebut "jantung" atau "inti bumi". Bagian dalam terdiri atas bermacam-macam batu keras dan kaya dengan besi. Sedangkan bagian luar berbentuk larutan berwarna metalik yang

ketebalannya mencapai 2.270 kilometer. Para ahli mengatakan bahwa larutan adalah tempat terjadinya proses pembentukan batu dan tembaga dengan berbagai jenisnya, yang kemudian benda-benda ini kan menjadi sumber yang menghasilkan endapan, bahan mentah, dan kekayaan mineral (Pasya, 2004).

Merkuri sangat sedikit ditemukan dalam bentuk logam, mineral-mineral merkuri paling banyak ditemukan sebagai sulfide merkuri (cinnabar), dan sebagian kecil pada mineral korderoid ( $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}$ ), livingstonit ( $\text{HgSb}_4\text{S}_7$ ), montroyidit ( $\text{HgO}$ ), tertringualit ( $\text{Hg}_2\text{OCl}$ ), kalomel ( $\text{HgCl}$ ) (Kirk and Otmer, 1981 dalam Rossa, 2004).

Merkuri merupakan unsur logam transisi golongan IIB bersama seng dan kadmium yang terletak di bawah kadmium. Unsur ini memiliki nomor atom 80, berat atom 200,59 gr/mol, dengan konfigurasi elektron  $[\text{Xe}] 5d^{10} 5s^2$  (Alfian, 2006).

Merkuri merupakan satu-satunya logam yang dapat mengikat hidrogen, dan mempunyai tingkat oksidasi  $\text{Hg}^{1+}$ , dan  $\text{Hg}^{2+}$  yang paling stabil (Larkin, 1965).

Secara umum logam merkuri memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Palar, 1994):

- a. Berwujud cair pada suhu ruang  $25^\circ\text{C}$  dengan titik beku paling rendah sekitar  $-39^\circ\text{C}$ .
- b. Masih berwujud cair pada suhu  $396^\circ\text{C}$ . Pada temperatur ini telah terjadi pemuain secara menyeluruh
- c. Merupakan logam yang paling mudah menguap jika dibandingkan dengan logam-logam yang lain

- d. Tahanan listrik yang dimiliki sangat rendah, sehingga menempatkan merkuri sebagai logam yang sangat baik untuk menghantarkan daya listrik
- e. Dapat melarutkan bermacam-macam logam untuk membentuk alloy yang disebut juga dengan amalgam.
- f. Unsur yang sangat beracun bagi semua makhluk hidup, baik itu dalam bentuk unsur tunggal (logam) ataupun dalam bentuk persenyawaan

### **2.3 Toksisitas Merkuri**

Penggunaan merkuri di dalam industri sering menyebabkan pencemaran lingkungan, baik melalui air buangan, maupun melalui sistem ventilasi udara. Merkuri yang terbuang ke sungai, pantai atau badan air di sekitar industri tersebut kemudian dapat mengkontaminasi ikan-ikan dan makhluk air lainnya termasuk ganggang dan tanaman air. Ikan-ikan dan hewan tersebut kemudian dikonsumsi oleh manusia sehingga di dalam jaringan tubuh manusia terpapar merkuri secara terus-menerus.

Merkuri dan turunannya dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Selain itu pencemaran perairan oleh merkuri mempunyai pengaruh terhadap ekosistem setempat yang disebabkan oleh sifatnya yang stabil dalam sedimen, kelarutannya yang rendah dalam air dan kemudahannya diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses bioaccumulation maupun biomagnification yaitu melalui *food chain* (Budiono, 2003).

Persenyawaan Hg seperti  $\text{HgCl}_2$  (sublimat) yang termakan oleh ikan dan kemudian termakan oleh manusia dapat merusak sel-sel jaringan faal dalam tubuh seperti rusaknya ginjal, saluran pencernaan atau pertukaran zat-zat kotor dari jaringan tubuh tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya dan akan menyebabkan kematian (Sudarmaji, 2005).

Karena sifatnya yang sangat beracun, maka U.S. Food and Administration (FDA) menentukan pembakuan atau Nilai Ambang Batas (NAB) kadar merkuri yang ada dalam jaringan tubuh badan air, yaitu sebesar 0,005 ppm. Bila dalam air atau makanan, kadar merkuri sudah melampaui NAB, maka air maupun makanan yang diperoleh dari tempat tertentu harus dinyatakan berbahaya. NAB air yang mengandung merkuri total 0,002 ppm baik digunakan untuk perikanan (Budiono, 2003). Menurut pedoman baku mutu lingkungan, kadar merkuri yang terdapat dalam makanan langsung maksimum adalah 0.001 ppm (Anonymous, 2007)

#### **2.4 Biomassa**

Biomassa merupakan bahan yang berasal dari zat-zat organik yang dapat diperbaharui, dan dari makhluk hidup baik hewan maupun tumbuhan. Beberapa biomassa yang ada yaitu ganggang laut, bakteri, tumbuhan alfalfa dan portulaca oleracea.

#### 2.4.1 Biomassa Daun Enceng gondok

Tumbuhan merupakan salah satu benda hidup yang terdapat di alam yang dapat melangsungkan kehidupannya dengan cara fotosintesis melalui bantuan sinar matahari dan juga membutuhkan air untuk tumbuh berkembang. Firman Allah dalam Qs. Thaha: 53 yang berbunyi:

بِهِ فَأَخْرَجْنَا مَاءَ السَّمَاءِ مِنْ وَأَنْزَلْنَا سُبُلًا فِيهَا لَكُمْ وَسَلَكْنَا مَهْدًا لِلْأَرْضِ لَكُمْ جَعَلْنَا الَّذِي  
شَقَى نَبَاتٍ مِنْ أَرْوَاجًا

Artinya: “Yang telah menjadikan bagimu bumi sebagai hamparan dan yang telah menjadikan bagimu di bumi itu jalan-jalan, dan menurunkan dari langit air hujan. Maka Kami tumbuhkan dengan air hujan itu berjenis-jenis tumbuhan yang bermacam-macam”.

Ayat diatas menjelaskan bahwa air merupakan syarat utama bagi terwujudnya proses pertumbuhan. Dalam hal ini para ahli menyimpulkan bahwa air merupakan sesuatu yang mutlak diperlukan bagi kehidupan dan kelangsungan hidup, dan bahkan tidak ada satu interaksi kimia pun yang terjadi dalam tubuh tanpa melibatkan peran air (Pasya, 2004).

Ayat di atas juga dapat dipahami bahwa dengan air hujan yang turun di atas permukaan bumi itu Tuhan menumbuhkan berbagai tanaman yang beraneka ragam jenisnya. Semua jenis tumbuhan makan dan tumbuh dari air, sinar, karbon, oksigen, hidrogen, nitrogen, fosforus, sulfur, kalium, kalsium, magnesium dan besi, tetapi meskipun makanannya sama, dalam tanah tanah yang sama dan

dalam air yang sama tersebut Tuhan menumbuhkan tumbuhan yang beraneka ragam dengan bentuk, warna, bau, dan rasa yang berbeda (Pasya, 2004).

Ayat lain yang mengingatkan kita tentang kekuasaan Tuhan adalah Firman Allah Qs. al-An'am: 99 yang berbunyi:

مِنْهُ خُجْرٌ خَضِرًا مِنْهُ فَأَخْرَجْنَا شَيْءٌ كُلِّ نَبَاتٍ بِهِ فَأَخْرَجْنَا مَاءَ السَّمَاءِ مِنْ أَنْزَلِ الَّذِي وَهُوَ  
وَالرُّمَانَ وَالزَّيْتُونَ أَعْنَابٍ مِّنْ وَجَنَّتِ دَانِيَةً قَنَوَانٌ طَلَعَهَا مِنَ النَّخْلِ وَمِنْ مُتْرَاكِبًا حَبًّا  
لِّقَوْمٍ لَّا يَتَذَكَّرُونَ فِي أَنْ يَنْبَغِيهِمْ إِذَا ثَمَرَتْ إِذَا تَمَرَّتْ إِلَى أَنْظُرُوا مُتَشَبِهٍ وَغَيْرِ مُشْتَبِهًا  
يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

Artinya: “Dan Dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan, maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau, Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dari dari mayang kurma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (Kami keluarkan pula) zaitu dan delima yang serupa dan yang tidak serupa, perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman”.

Kekuasaan Allah dalam tumbuh-tumbuhan terlihat pada modifikasi tumbuh-tumbuhan itu sesuai dengan berbagai kondisi lingkungan. Misalnya, ada tumbuh-tumbuhan air yang hidup di raw-rawa, danau, saluran air, got, kiri-kanan sungai yang berarus lambat, dan lahan-lahan yang penuh dengan air. Semua tumbuhan ini dapat menyesuaikan diri dalam kondisi air yang melimpah, begitu juga batang dan daunnya, keseluruhan akarnya sangat kurang dan organ

ventilasinya sangat banyak karena oksigen yang ada dalam air sangat sedikit (Pasya, 2004)

Tumbuhan enceng gondok misalnya, tumbuhan ini dapat hidup di rawa-rawa, dan sungai. Tumbuhan enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan air yang sulit untuk diberantas karena pertumbuhannya yang sangat cepat dan daya hidupnya sangat tinggi. Enceng gondok yang ada di Indonesia pertama kali diperkenalkan di Kebun Raya Bogor pada tahun 1894. Moenandir (1990) dalam Hernowo (1999) menerangkan bahwa Enceng gondok merupakan herba yang mengapung, kadang-kadang berarak dalam tanah, menghasilkan tunas merayap yang keluar dari ketiak daun yang dapat tumbuh lagi menjadi tumbuhan baru dengan tinggi 0,4-0,8 m.

Tumbuhan ini memiliki bentuk fisik berupa daun-daun yang tersusun dalam bentuk radikal (roset), setiap tangkai pada helaian daun yang dewasa memiliki ukuran pendek dan berkerut. Helaian daun (lamina) berbentuk bulat telur lebar dengan tulang daun yang melengkung rapat panjang 7-25 cm, gundul dan warna daun hijau licin mengkilat

Bakal buah beruang tiga dan berisi banyak. Tangkai daun pada Enceng gondok bersifat mendangkalkan dan membangun spon yang membuat tumbuhan ini mengambang. Enceng gondok berkembang biak dengan stolon (vegetatif) dan juga secara generatif. Perkembangbiakan secara vegetatif mempunyai peranan penting dalam pembentukan koloni. Perkembangbiakan tergantung dari kadar O<sub>2</sub> yang terlarut dalam air. Moenandir (1990) dalam Hernowo (1999) menyebutkan,

bahwa pada konsentrasi 3,5-4,8 ppm perkembangbiakan Enceng gondok dapat berjalan dengan cepat.



**Gambar 2.1** Tanaman enceng gondok

Muramoto dan Oki (1977) dalam Hernowo (1999) menjelaskan, bahwa Enceng gondok dapat digunakan untuk menghilangkan polutan, karena fungsinya sebagai sistem filtrasi biologis, menghilangkan nutrisi mineral, untuk menghilangkan logam berat seperti cuprum, aurum, cobalt, strontium, merkuri, timah, kadmium dan nikel.

Tumbuhan enceng gondok yang selama ini dikenal sebagai tumbuhan gulma atau hama, sebenarnya mempunyai kemampuan untuk menyerap logam berat. Widiyanto dan Susilo (1977) dalam Hasim (2007) melaporkan bahwa dalam waktu 24 jam enceng gondo mampu menyerap logam kadmium(Cd), merkuri

(Hg), dan nikel (Ni). Enceng gondok menyerap Cd 1,23 mg/g, Hg 1,88 mg/g dan Ni 0,35 mg/g berat kering apabila logam-logam tersebut berada dalam keadaan tercampur dengan logam lain.

Kemampuan tumbuhan enceng gondok dalam mengurangi jumlah logam berat yang ada di lingkungan membuktikan bahwa semua yang diciptakan oleh Tuhan itu pasti ada manfaatnya. Sebagaimana Firman Allah dalam Qs. Shaad: 27 yang berbunyi:

مَنْ كَفَرُوا لِلَّذِينَ فَوَيْلٌ مِّمَّنْ كَفَرُوا الَّذِينَ ظَنُّوا أَنَّهُمْ كَانُوا بَيْنَهُمَا وَمَا بَيْنَهُمَا وَمَا بَيْنَهُمَا خَلْقْنَا وَمَا  
النَّارِ ﴿٢٧﴾

Artinya: *"Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, Maka celakalah orang-orang kafir itu Karena mereka akan masuk neraka"*.

Ayat ini dapat dipahami bahwa Tuhan menciptakan langit, bumi dan segala yang ada sekitarnya seperti binatang, tanaman dan makhluk-makhluk yang lain sebagai main-main dan kesia-siaan. Akan tetapi Tuhan menciptakan itu semua dengan hikmah-hikmah yang nyata dan amat berguna bagi manusia jika manusia itu mau memikirkannya dan memanfatkannya dengan sebaik-baiknya (Al-Maraghi,1986).

Winarno (1993) dalam Hernowo (1999) menyebutkan bahwa hasil analisa kimia dari Enceng gondok dalam keadaan segar tertera pada tabel dibawah ini :

**Tabel 2.1** Bahan-bahan yang terkandung dalam enceng gondok segar.

Bahan yang terkandung	Persentase
bahan organik	36,59%
C organik	21,23%
total N	0,28%
K total	0,016%
P total	0,0011%

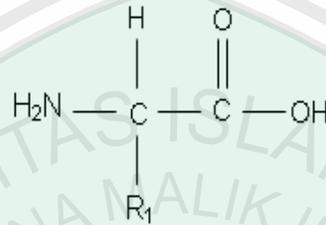
Gugus-gugus aktif dalam daun enceng gondok yang berperan dalam proses adsorpsi diduga adalah protein yang mempunyai satuan-satuan asam amino sebagai penyusunnya. Interaksi antara  $Hg^{2+}$  dengan adsorben biomassa daun enceng gondok terjadi karena adanya gaya elektrostatik antara muatan negatif adsorben yang bertindak sebagai situs aktif dengan muatan positif dari ion-ion logam. Mekanisme pembentukan ikatan antara ion  $Hg^{2+}$  dengan situs aktif dalam biomassa daun enceng gondok terjadi pada gugus  $-COOH$  dari asam amino yang bertindak sebagai situs aktif untuk pembentukan ikatan dengan ion logam yang akhirnya membentuk ikatan stabil (Al-Ayubi, 2008).

Dugaan-dugaan di atas diperkuat dengan penelitian Rohmawati (2008) yang mengatakan bahwa kemungkinan situs-situs aktif yang berperan dalam penyerapan ion  $Hg^{2+}$  mengikuti tipe ikatan seperti berikut M-N, M-CO, COOM, OM.

## 2.5 Protein

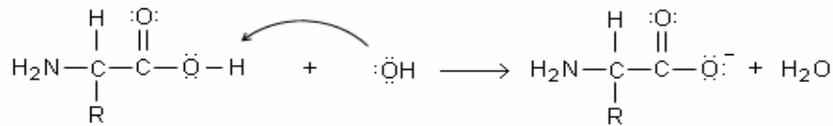
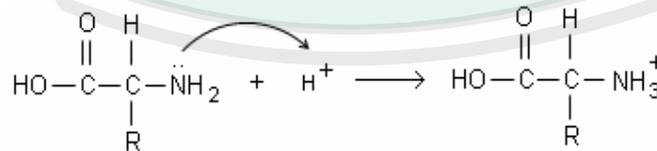
Kata protein berasal dari *Protos* atau *Proteus* yang berarti pertama atau utama. Molekul-molekul asam amino dapat berikatan satu dengan yang lain membentuk suatu senyawa yang disebut peptide. Polipeptida yang terdiri atas

lebih dari seratus asam amino disebut dengan protein (Poedjiadi, 1994). Struktur umum dari asam amino adalah :



**Gambar 2.2** Struktur umum asam amino

Suatu asam amino mengandung ion karboksilat ( $-\text{COO}^-$ ) maupun suatu ion ammonium ( $-\text{NH}_3^+$ ) dalam sebuah molekul, karena asam amino bersifat amfoter; artinya ia dapat bereaksi dengan asam maupun basa, yang akan menghasilkan suatu kation atau anion, seperti pada gambar (Fessenden and Fessenden, 1995).



**Gambar 2.3** Perubahan muatan pada asam amino

## **2.5.1 Sifat-Sifat dari Protein**

### **2.5.1.1 Ionisasi**

Sifat asam basa dari protein dalam larutan, sebagian besar ditentukan oleh gugus R asam aminonya yang dapat berionisasi. Gugus  $\text{NH}_2$  dan  $\text{COOH}$  yang terdapat pada kedua ujung rantai polipeptida sedikit sekali menunjang sifat asam basa protein tersebut. Sama seperti asam amino, protein juga mempunyai titik isoelektrik, yaitu pada pH yang menunjukkan jumlah muatan positif dan negatif sama. Pada pH ini protein tidak akan bergerak bila diletakkan dalam medan listrik (Wirahadikusumah, 1977).

### **2.5.1.2 Denaturasi Protein**

Beberapa jenis protein sangat peka terhadap perubahan lingkungannya. Apabila konformasi molekul berubah, misalnya oleh perubahan suhu, pH atau karena terjadinya suatu reaksi dengan senyawa lain, ion-ion logam, maka aktivitas biokimiawinya akan berkurang. Perubahan konformasi alamiah menjadi suatu konformasi yang tidak menentu merupakan suatu proses yang disebut denaturasi. Proses denaturasi ini kadang-kadang dapat berlangsung secara reversibel, kadang-kadang tidak. Penggumpalan protein biasanya didahului oleh proses denaturasi yang berlangsung dengan baik pada titik isolistrik protein tersebut (Poedjiadi, 1994).

Protein akan mengalami koagulasi apabila dipanaskan pada suhu  $50^\circ\text{C}$  atau lebih. Koagulasi ini hanya terjadi apabila larutan protein berada pada titik isolistriknya. Protein yang terdenaturasi pada titik isolistriknya masih dapat larut

pada pH di luar titik isolistrik tersebut (Poedjadi, 1994). Penambahan pelarut organik tertentu, seperti etanol dan aseton ke dalam larutan protein akan menyebabkan berkurangnya kelarutan dan akan memungkinkan terjadinya pengendapan (Wirahadikusumah, 1977).

## **2.6 Adsorpsi**

Menurut Weber (1972), adsorpsi adalah suatu proses dimana suatu komponen bergerak dari satu fasa menuju permukaan suatu fasa yang lain, terutama fasa kedua adalah zat padat.

Dalam adsorpsi, adsorben adalah zat yang mempunyai sifat mengikat molekul pada permukaannya, dan sifat ini menonjol pada padatan yang berpori. Beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh adsorben antara lain adalah mempunyai luas permukaan yang besar, berpori, aktif dan murni, serta tidak bereaksi dengan adsorbat (Bernasconi, et al., 1995).

Pada umumnya dikenal dua jenis adsorpsi, yaitu adsorpsi fisik atau adsorpsi van der Waals dan adsorpsi kimia atau adsorpsi teraktifasi (Oscik, 1982). Klasifikasi di atas berdasarkan pada :

### **a. Energi adsorpsi**

Adsorpsi kimia memiliki panas reaksi yang kira-kira sama dengan suatu reaksi kimia yaitu 42-420 kJ/mol, sangat besar bila dibandingkan dengan adsorpsi fisika yang memiliki panas adsorpsi kurang dari 42 kJ/mol atau kira-kira sama dengan panas pada proses kondensasi adsorbat (Lyman, 1995).

b. Gaya adsorpsi

Pada adsorpsi kimia molekul adsorbat dan adsorben membentuk sistem homogen dan biasa terjadi melalui ikatan kimia yang berupa ikatan kovalen. Adsorpsi fisika melibatkan interaksi yang lebih lemah yaitu gaya Van der Waals dan ikatan hidrogen pada interaksi antara dua sistem.

c. Reversibilitas

Adsorbat pada adsorpsi fisika lebih mudah berpindah dari permukaan karena sifatnya yang reversibel dan hal ini menyebabkan kemungkinan desorpsi dapat terjadi pada temperatur yang sama, sedangkan pada adsorpsi kimia perpindahan adsorbat dari permukaan lebih sulit karena sifatnya yang ireversibel.

d. Ketebalan lapisan adsorben

Pada adsorpsi fisika, pada kondisi suhu dan tekanan yang sesuai, ketebalan lapisan yang diadsorpsi lebih besar beberapa kali diameter adsorbat, sedangkan pada adsorpsi kimia yang terbentuk hanya lapisan tunggal (*monolayer*) (Oscik, 1982).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain:  
(Weber, 1977 dan Sawyer and Mc. Carty, 1987):

1. Jenis adsorben

Menyangkut ciri khas dari suatu adsorben untuk menyerap adsorbat, adsorben polar cenderung menyerap adsorbat yang polar.

2. Luas permukaan adsorben

Luas permukaan adsorben sangat berpengaruh terutama untuk tersedianya tempat adsorpsi. Makin besar luas permukaan adsorben makin besar pula adsorpsi yang dilakukan. Maka adsorpsi sebanding terhadap luas permukaan adsorben.

3. Kemurnian adsorben

Kemurnian adsorben dapat ditingkatkan melalui aktivasi. Biasanya adsorben buatan lebih sering digunakan daripada adsorben alam, karena kemurnian adsorben buatan lebih tinggi.

4. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul adsorbat menentukan batas kemampuannya melewati pori adsorben. Kecepatan adsorpsi menurun seiring dengan ukuran, berat partikel.

5. Konsentrasi adsorbat

Adsorpsi akan meningkat dengan kenaikan konsentrasi adsorbat. Adsorpsi akan tetap jika terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi adsorben yang tersisa dalam larutan.

6. Pengocokan

Kecepatan adsorpsi dipengaruhi oleh difusi film atau difusi pori yang tergantung pada kecepatan pengocokan dalam sistem. Difusi pori umumnya mencapai optimum bila kontak sistem terjadi dengan pengocokan yang kuat.

## 7. Temperatur

Reaksi pada adsorpsi biasanya yang terjadi secara eksotermis. Kecepatan adsorpsi akan naik pada temperatur yang lebih rendah dan akan turun pada temperatur lebih tinggi.

## 8. pH larutan

Senyawa yang terdisosiasi lebih mudah diserap daripada senyawa terionisasi. Pada umumnya adsorpsi bertambah pada kisaran pH dimana suatu senyawa organik bermuatan netral.

### **2.7 Kinetika Adsorpsi**

Kinetika kimia adalah suatu kajian yang digunakan untuk mengetahui kecepatan dari suatu reaksi pada percobaan, untuk mengetahui mekanisme dari suatu reaksi tersebut dan juga akan dikemukakan bagaimana cara menentukan laju reaksi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya (Chang, 1981).

Laju reaksi didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi reaktan atau produk setiap perubahan waktu. Laju reaksi akan bergantung pada konsentrasi, temperatur, dan suatu katalis (Chang, 1981). Reaksi akan berjalan cepat pada awal reaksi, dan akan semakin lambat setelah penambahan waktu tertentu dan akan berhenti pada waktu yang tak terhingga (Sukardjo, 2002).

Menurut Hukum Kegiatan Massa, kecepatan reaksi pada temperatur tetap, berbanding lurus dengan konsentrasi pengikut-pengikutnya dan masing-masing berpangkat sebanyak molekul dalam persamaan reaksi (Sukardjo, 2002).

Menurut Atkins (1999) orde reaksi terhadap suatu komponen merupakan pangkat dari konsentrasi komponen tersebut, dalam persamaan hukum laju.

Kinetika adsorpsi digunakan untuk mengetahui kecepatan adsorben dalam menyerap adsorbat. Laju adsorpsi dapat diketahui berdasarkan dari persamaan laju reaksi.

### 2.7.1 Model Kinetika Adsorpsi Menurut Langmuir

Laju adsorpsi akan bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut dan porositas adsorben. Proses adsorpsi heterogen memiliki dua tahap, yaitu : (1) perpindahan adsorbat dari fasa larutan ke permukaan adsorben dan (2) adsorpsi pada permukaan adsorben (Oscik, 1982).

Bagian yang terpenting dalam adsorpsi yaitu situs yang dimiliki oleh adsorben yang terletak pada permukaan adsorben. Jumlah situs-situs ini akan berkurang jika permukaan yang tertutup semakin bertambah (Glasstone, 1941).

Reaksi yang terjadi pada proses adsorpsi diasumsikan sebagai reaksi bimolekuler antara molekul atau atom adsorbat dan atom atau molekul yang terletak di permukaan adsorben. Reaksi antara molekul adsorbat dengan molekul adsorben akan membentuk suatu senyawa kompleks teraktifasi.

Dalam kajian adsorpsi pada gas, yang mana (Glasstone, 1941) :

$$\text{Konsentrasi pada bagian gas: } C_g = \frac{N_g}{V} \quad (1)$$

$$\text{Konsentrasi pada situs adsorpsi: } C_s = \frac{N_s}{S} \quad (2)$$

$$\text{Konsentrasi pada senyawa kompleks teraktifasi: } C_+ = \frac{N_+}{S} \quad (3)$$

Dimana:

$N_g$  : jumlah molekul dalam gas

$V$  : volume gas

$N_s$  : jumlah situs yang kosong

$S$  : luas permukaan dari adsorben

$N_+$  : jumlah dari situs yang teraktifasi

$C_g$  : konsentrasi gas

$C_s$  : konsentrasi pada situs adsorpsi

$C_+$  : konsentrasi pada senyawa kompleks teraktifasi.

Menurut teori laju reaksi absolut, keseimbangan akan terjadi pada molekul-molekul dalam gas, pusat adsorben, dan senyawa kompleks teraktifasi, jadi, keseimbangan yang terjadi pada masing-masing variasi komponen dalam suatu sistem yang berjalan secara ideal,

$$K = \frac{C_+}{C_g C_s} = \frac{N_+}{(N_g/V)N_s} \quad (4)$$

$$= \frac{f_+}{(f_g/V)f_s} \quad (5)$$

dimana  $f$  adalah faktor fungsi partisi dari spesies yang diidentifikasi. Jika  $F_g$  adalah fungsi partisi untuk setiap unit volume gas yang terserap dengan :

$$F_g = \frac{f_g}{V} \quad (6)$$

maka persamaan 4 dan 5 akan menjadi :

$$\frac{C_+}{C_g C_s} = \frac{f_+'}{F_g f_s} \quad (7)$$

$$\text{Sehingga : } C_+ = C_g C_s \frac{f_+'}{F_g f_s} \quad (8)$$

Menurut teori laju reaksi absolut, Laju adsorpsi gas dalam situs pada jenis ke  $i$  setiap centimeter adalah :

$$V_{a(i)} = C_g C_{s(i)} \frac{kT}{h} \cdot \frac{f_+}{F_g f_s} \quad (9)$$

Jika permukaan adsorben itu seragam sesuai asumsi Langmuir dan semua pusat adsorben dapat dihitung aktivitasnya, maka laju yang dihasilkan dari adsorpsi dalam sejumlah permukaan adalah :

$$V_a = C_g C_s \frac{kT}{h} \cdot \frac{f_+}{F_g f_s} \quad (10)$$

Jika kontribusi titik nol dikeluarkan dari fungsi partisi maka :

$$V_a = C_g C_s \frac{kT}{h} \cdot \frac{f_+}{F_g f_s} e^{-\epsilon_1/kT} \quad (11)$$

Yang mana:

$V_a$  : laju adsorpsi ( $r_{\text{ads}}$ )

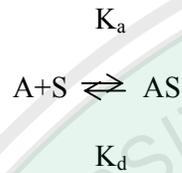
$C_g$  : konsentrasi awal dari gas

$C_s$  : konsentrasi situs adsorpsi

$$K_a : \frac{kT}{h} \cdot \frac{f_+}{F_g f_s} e^{-\epsilon_1/kT}$$

Dalam adsorpsi ion dalam larutan, konsentrasi gas  $C_g$  dapat disetarakan dengan konsentrasi ion dalam larutan  $C_A$ , sedangkan  $C_s$  dapat disetarakan dengan  $\theta_0$  jumlah situs yang tidak ditempati oleh adsorbat.

Untuk suatu reaksi :



dengan A = adsorbat, S = adsorben,  $k_a$  = konstanta laju adsorpsi,  $k_d$  = konstanta laju desorpsi. Jika  $\theta_1$  = jumlah situs yang ditempati adsorbat,  $\theta_0$  = jumlah situs yang tidak ditempati adsorbat,  $\theta_0 + \theta_1 = 1$  (Listianti, 2004).

Maka menurut Langmuir berlaku hubungan :

$$r_{ads} = k_a \theta_0 C_A$$

$$r_{ads} = k_a (1 - \theta_1) C_A \quad (12)$$

$$r_{des} = k_d \theta_1 \quad (13)$$

Pada keadaan kesetimbangan :

$$r_{ads} = r_{des}$$

$$k_a (1 - \theta_1) C_A = k_d \theta_1 \quad (14)$$

Sehingga dihasilkan :

$$\theta_1 = \frac{k_a}{k_d} (1 - \theta_1) C_A \quad (15)$$

Mengingat  $K = \frac{k_a}{k_d}$  merupakan konstanta kesetimbangan adsorpsi-desorpsi,

maka persamaan 15 dapat ditulis :

$$\theta_1 = K(1 - \theta_1)C_A$$

$$\theta_1 = KC_A(1 - \theta_1)$$

$$\theta_1 = KC_A - KC_A\theta_1$$

$$\theta_1 + KC_A\theta_1 = KC_A$$

$$\theta_1(1 + KC_A) = KC_A$$

$$\theta_1 = \frac{KC_A}{1 + KC_A} \quad (16)$$

Substitusi dari persamaan (16) ke dalam persamaan (12) menghasilkan :

$$r_{ads} = k_a C_A \left( 1 - \frac{KC_A}{1 + KC_A} \right)$$

$$r_{ads} = k_a C_A - k_a C_A \frac{KC_A}{1 + KC_A}$$

$$r_{ads} = \frac{k_a C_A (1 + KC_A) - k_a C_A KC_A}{1 + KC_A}$$

$$r_{ads} = \frac{k_a C_A ((1 + KC_A) - (KC_A))}{1 + KC_A}$$

$$r_{ads} = \frac{k_a C_A}{1 + KC_A} \quad (17)$$

Ketika adsorbat teradsorpsi kuat, maka  $KC_A \gg 1$ , maka nilai keseimbangan adsorpsi-desorpsi ( $K$ ) mempunyai nilai yang besar,  $1 + KC_A \sim KC_A$ .

Laju yang dihasilkan adalah (Gasser, 1985):

$$r_{ads} = k_a / K \quad (\text{orde nol}) \quad (18)$$

Karena  $r$  hanya bergantung pada  $k_a/K$ , maka reaksi berorde nol.

Ketika adsorbat teradsorpsi lemah, maka  $KC_A \ll 1$ ,  $1 + KC_A \sim 1$ , maka laju yang didapatkan adalah:

$$r_{ads} = \frac{k_a C_A}{1 + KC_A} = k_a C_A \quad (\text{orde satu}) \quad (19)$$

Dalam hal ini reaksi berorde satu, sehingga  $k_a$  adalah konstanta laju reaksi orde satu ( $k_1$ ), maka kinetika adsorpsinya dapat ditulis sebagai berikut

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1 C_A}{1 + KC_A} \quad (20)$$

Keterangan:

K : Konstanta Keseimbangan adsorpsi-desorpsi ( $M^{-1}$ )

$k_1$  : konstanta laju reaksi orde satu

$r_A$  : Laju reaksi ( $M \text{ menit}^{-1}$ )

$C_A$  : Konsentrasi merkuri dalam larutan (M)

A : Merkuri

S : Adsorben (enceng gondok)

Apabila variabel dalam persamaan (20) di atas dipisah akan diperoleh :

$$-(1 + KC_A) dC_A = k_1 C_A dt \quad (21)$$

atau

$$\frac{dC_A}{C_A} + KdC_A = -k_1 dt \quad (22)$$

Hasil integral dari persamaan (22) di atas adalah :

$$\ln C_A + KC_A = -k_1 t + Y \quad (23)$$

Pada saat  $t=0$ , maka  $C_A=C_0$ , dengan mensubstitusikan pada persamaan (23) di atas, akan diperoleh :  $Y = \ln C_0 + KC_0$

Apabila Y disubstitusikan pada persamaan (23) akan diperoleh bentuk persamaan laju terintegrasinya:

$$\ln C_A + KC_A = -k_1t + \ln C_0 + KC_0 \quad (24)$$

Tata ulang persamaan (24) akan didapat :

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right) + K(C_0 - C_A) = k_1t \quad (25)$$

Persamaan (25) di atas selanjutnya dibagi dengan  $C_0 - C_A$  dan akan diperoleh :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_0 - C_A} + K = \frac{k_1t}{C_0 - C_A} \quad (26)$$

Konstanta keseimbangan adsorpsi-desorpsi Langmuir dan konstanta laju reaksi

dapat ditentukan dengan membuat grafik  $\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_0 - C_A}$  vs  $\frac{t}{C_0 - C_A}$ . Slope grafik

tersebut menunjukkan harga  $k_1$ , sedangkan intersepnya menunjukkan harga konstanta keseimbangan adsorpsi-desorpsi Langmuir (K) (Bailey, 1996 dalam Kusuma, 2002).

### 2.7.2 Model Kinetika Menurut Langmuir-Hinselwood-Santosa

Model kinetika adsorpsi menurut Santosa didasarkan pada reaksi unimolekuler, menurut Langmuir-Hinselwood dimana laju adsorpsinya adalah :

$$r_A = \frac{dC_A}{dt} = k \theta \quad (\text{penentu laju})$$

$$r_A = \frac{kKC_A}{1 + KC_A} \quad (27)$$

Pada saat  $t$  tertentu, adsorbat teradsorpsi kuat, maka  $KC_A \gg 1$  sehingga faktor  $1+KC_A \sim KC_A$ , persamaan (27) dapat ditulis ulang :

$$r_A = \frac{kKC_A}{KC_A} = k \quad (\text{orde nol}) \quad (28)$$

karena  $r$  hanya bergantung pada  $k$ , maka reaksi berorde nol. Dengan demikian faktor  $k$  pada penyebut tidak lain adalah konstanta laju orde nol ( $k_0$ ).

Pada saat  $t \rightarrow 0$ , adsorbat teradsorpsi lemah, maka  $KC_A \ll 1$  sehingga faktor  $1+KC_A \sim 1$ , persamaan (27) dapat ditulis ulang :

$$r_A = kKC_A \quad (\text{orde satu}) \quad (29)$$

dalam hal ini reaksi berorde satu sehingga  $kK$  adalah konstanta laju reaksi orde satu. Secara keseluruhan persamaan lajunya adalah:

$$r_A = \frac{k_1 C_A}{1 + KC_A} \quad (30)$$

Adsorpsi merkuri pada enceng gondok apabila dituliskan menurut reaksi:



Menurut Langmuir-Hinselwood kinetika adsorpsinya dapat ditulis sebagai berikut

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1 C_A}{1 + KC_A} \quad (32)$$

Dimana:

$K$  : Konstanta Keseimbangan Langmuir ( $M^{-1}$ )

$k_1$  : konstanta laju reaksi orde satu pada model LH ( $\text{menit}^{-1}$ )

$r_A$  : Laju reaksi ( $M \text{ menit}^{-1}$ )

$C_A$  : Konsentrasi merkuri dalam larutan ( $M$ )

A : Merkuri

S : Adsorben (enceng gondok)

Apabila variabel dalam persamaan (32) di atas dipisah akan diperoleh :

$$-(1 + KC_A) dC_A = k_1 C_A dt \quad (33)$$

atau

$$\frac{dC_A}{C_A} + KdC_A = -k_1 dt \quad (34)$$

Hasil integral dari persamaan (34) di atas adalah :

$$\ln C_A + KC_A = -k_1 t + Y$$

Santosa mengasumsikan bahwa pada saat  $t=0$ , konsentrasi spesies A dalam larutan ( $C_A$ ) sama dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) dan parameter K belum ada sebelum proses adsorpsi berlangsung, sehingga persamaannya menjadi :

$$Y = \ln C_0 \quad (35)$$

Substitusi dari persamaan (35) kedalam persamaan (34) menghasilkan persamaan laju reaksi Langmuir-Hinselwood-Santosa terintegrasi:

$$\ln C_A + KC_A = -k_1 t + \ln C_0 \quad \text{atau} \\ \ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right) = k_1 t + KC_A \quad (36)$$

persamaan (36) dibagi  $C_A$  menghasilkan :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K \quad (37)$$

Berdasarkan pada persamaan (37) di atas maka konstanta laju adsorpsi orde 1 ( $k_1$ )

dapat ditentukan dari slope pada plot dari  $\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A}$  vs  $\frac{t}{C_A}$  dari persamaan :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K$$

Dengan

$C_0$  : konsentrasi awal ion logam dalam larutan

$C_A$  : konsentrasi ion logam setelah waktu  $t$

$K$  : konstanta kesetimbangan adsorpsi Langmuir

$t$  : waktu adsorpsi

$k_1$  : konstanta laju adsorpsi orde 1 model Langmuir-Hinselwood-Santosa

## 2.8 Immobilisasi Biomassa Pada Matriks Polisilikat

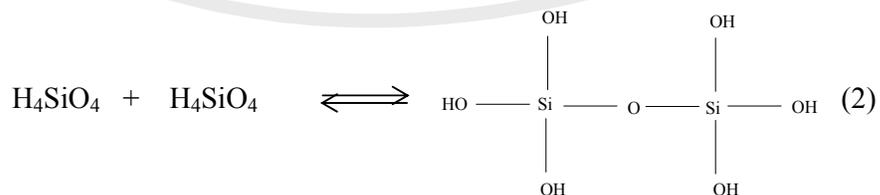
Kemampuan biomassa dalam mengikat logam berat sangat dibatasi oleh beberapa kendala seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang sangat rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroba yang lain. Masalah ini dapat diatasi dengan mengimmobilisasi biomassa dengan suatu matriks agar diperoleh agregat yang stabil (Putra, 2007).

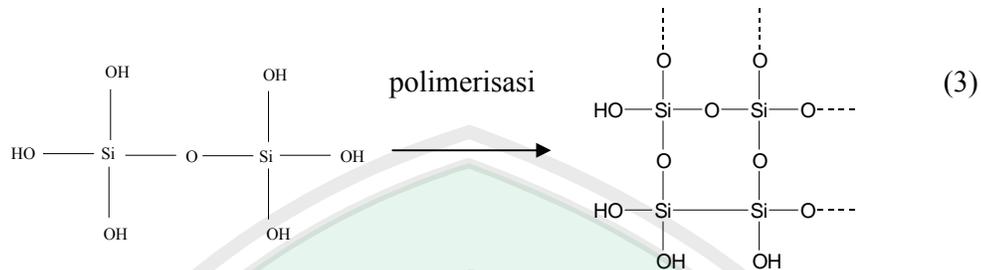
Teknik immobilisasi adalah suatu cara bagaimana mengikat reagen pada suatu matriks dengan syarat aktifitas dari reagen tersebut masih tetap ada. Immobilisasi secara *entrapment* merupakan suatu cara immobilisasi dimana reagen yang akan digunakan diperangkap dalam suatu matriks (Sholecha, 2002).

Amaria (1998) dalam Putra (2007) melaporkan bahwa biomassa *Chaetoceros calcitrans* yang terimmobilisasi pada silika gel mampu mengadsorpsi ion Cu dan Cd. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat juga mampu mengadsorpsi ion merkuri Hg (II) sebesar 8.019 mg (Khalifah, 2008).

Matriks polisilikat dapat dibuat dari natrium metasilikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang direaksikan dengan suatu asam. Reaksinya akan menghasilkan asam monosilikat, yang selanjutnya mengalami polimerisasi membentuk gel polisilikat (Hennisch, 1988). Gardea-Torresdey *et al.* (1995) membuat polimer polisilikat dengan cara mereaksikan larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  6 % dengan larutan asam sulfat 5 % pada pH 2,0.

Menurut Hennisch (1988) dalam Elviera (2006) reaksinya adalah sebagai berikut :





**Gambar 2.4** Reaksi pembentukan polimer polisilikat

Reaksi ini akan terjadi secara terus menerus hingga terbentuk jaringan rantai Si–O–Si dengan sistem tiga dimensi ke segala arah (Hennisch, 1988) dalam (Elviera, 2006).

Apabila biomassa dicampur dengan gel polisilikat pada pH rendah, yang mana pada kondisi pH tersebut gel polisilikat masih sangat lembek, maka dengan pengadukan dapat diperoleh campuran homogen biomassa-polisilikat. Peningkatan pH akan mengeraskan gel polisilikat, sehingga biomassa akan terimmobilisasi pada matriks polisilikat.

## 2.9 Spektrofotometri Infra Merah

Spektroskopi infra merah atau infrared spectroscopy (IR) mempunyai daerah radiasi pada bilangan gelombang  $12800-10 \text{ cm}^{-1}$ , atau pada panjang gelombang  $0,78-1000 \text{ }\mu\text{m}$ . Daerah radiasi IR terbagi dalam tiga bagian yaitu daerah IR dekat ( $12800-4000 \text{ cm}^{-1}$ ;  $0,78-2,5 \text{ }\mu\text{m}$ ), daerah IR tengah ( $4000-200 \text{ cm}^{-1}$ ;  $2,5-50 \text{ }\mu\text{m}$ ), daerah IR jauh ( $200-10 \text{ cm}^{-1}$ ;  $50-1000 \text{ }\mu\text{m}$ ). Daerah

IR yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan adalah daerah IR tengah 4000-690  $\text{cm}^{-1}$  (Kopkar, 1990).

Hayati (2007) mengemukakan bahwa spektroskopi IR dapat digunakan untuk penentuan struktur, khususnya senyawa organik. Sumber radiasi yang umum digunakan adalah Neslert atau lampu glower dan menggunakan detektor termal. Radiasi infra merah hanya terbatas pada perubahan energi tingkat molekul, yang terjadi perbedaan dalam keadaan vibrasi. Syarat dalam mengadsorpsi harus memiliki perubahan momen dipol yang mengakibatkan vibrasi molekul (Kopkar, 1990).

FTIR merupakan instrumen yang sering digunakan pada saat ini karena teknik analisisnya sangat cepat dan akurat. Pada prinsipnya bentuk spektra yang dihasilkan dari dua metode ini relatif sama, namun kualitasnya dan cara memperoleh spektranya yang berbeda. Pengisolasi radiasi pada sistem dispersi (konvensional) menggunakan prisma (gratting), sedangkan pada FTIR menggunakan interferometer yang dikontrol secara otomatis dengan komputer (Hayati, 2007).

Kelebihan dari FT-IR yang lain yaitu mencakup persyaratan ukuran sampel yang kecil, perkembangan spektrum yang cepat karena instrumen ini memiliki komputer yang terdedikasi sehingga memiliki kemampuan untuk menyimpan dan mengolah spektrum. Teknik ini juga memudahkan penelitian reaksi polimer-polimer seperti degradasi atau ikatan silang. Persyaratan ukuran sampel yang sangat kecil memudahkan kopling instrumen FT-IR dengan suatu mikroskop untuk analisis bagian-bagian sampel polimer yang sangat terlokalisasi. Dengan kemampuan untuk substraksi digital memungkinkan seseorang

untuk menentukan spektrum lainnya yang tersembunyi (Stuart, 1996) dalam (Ratna, 2006).

Cara penanganan sampel yang berupa padatan yaitu dengan lempeng KBr, mull, dan bentuk film atau lapisan tipis. Lempeng (pellet) KBr dibuat dengan menggerus cuplikan (0,1-2% berat) dengan kalium bromida (KBr) dalam mortar dari batu agate untuk mengurangi kontaminasi yang menyerap radiasi IR dan kemudian dimasukkan ke dalam tempat khusus kemudian divakum untuk melepaskan air. Campuran dipres beberapa saat (10 menit) pada tekanan 80 Torr (8 hingga 20 ton per satuan luas). Kalium bromida yang digunakan harus kering dan dianjurkan penggerusan dilakukan dibawah lampu inframerah untuk mencegah kondensasi uap air. Kerugian metode pellet KBr adalah sifat KBr yang hidroskopis hingga sukar memperoleh pelet yang bebas sempurna terhadap kontaminasi air, yang memberikan serapan lebar pada  $3500\text{ cm}^{-1}$  dan sukar mendapat ulangan yang tinggi (Hayati, 2007).

Secara umum digunakan diagram korelasi infra merah dalam mengidentifikasi gugus fungsi dan untuk menentukan satuan struktural hasil dari reaksi dan identifikasi suatu senyawa. Interpretasi gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam matriks polisilikat terdapat pada Tabel 2.2 dibawah ini (Khalifah, 2008):

**Tabel 2.2** Interpretasi spektra dari matriks polisilikat

Bilangan Gelombang $\text{cm}^{-1}$	Jenis Vibrasi
3410,88-3601,82	Vibrasi ulur O-H dari Si-OH
1890,11-2346,24	Atmosfer dari karbondioksida
1645,17	Vibrasi tekukan ikatan molekul $\text{H}_2\text{O}$
1092,60	Vibrasi ulur asimetris dari Si-O-Si
806,19-957,59	Vibrasi ulur dari Si-H
466,74	Vibrasi ulur dari Si-O

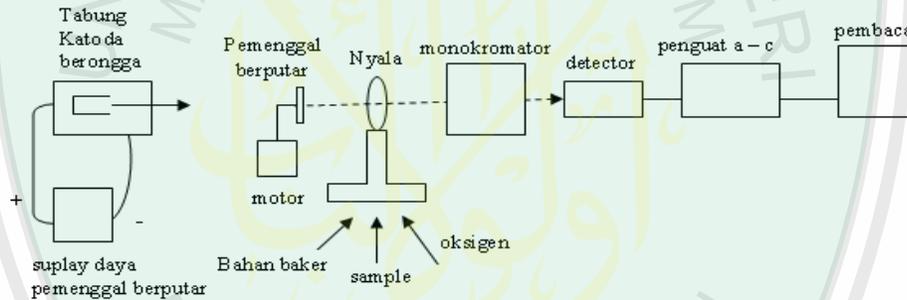
### 2.10 Spektroskopi Serapan Atom

Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Cahaya pada panjang gelombang tertentu mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom (Kopkar, 1990).

Atom dari suatu unsur yang berada pada keadaan dasar (ground state) bila dikenai suatu sinar maka atom tersebut akan menyerap energi dan mengakibatkan elektron pada kulit terluar akan tereksitasi ke tingkat yang lebih tinggi. Perbedaan energi antara keadaan dasar dan keadaan tereksitasi akan sama dengan energi yang diserap (Hayati, 2007).

Spektrum atomik untuk masing-masing unsur terdiri atas garis-garis resonansi. Garis-garis lain dapat berupa spektrum yang berasosiasi dengan tingkat energi molekul, biasanya berupa pita-pita lebar ataupun garis tidak berasal dari eksitasi tingkat dasar yang disebabkan proses atomisasinya. Keberhasilan analisis ini tergantung pada proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat (Kopkar, 1990).

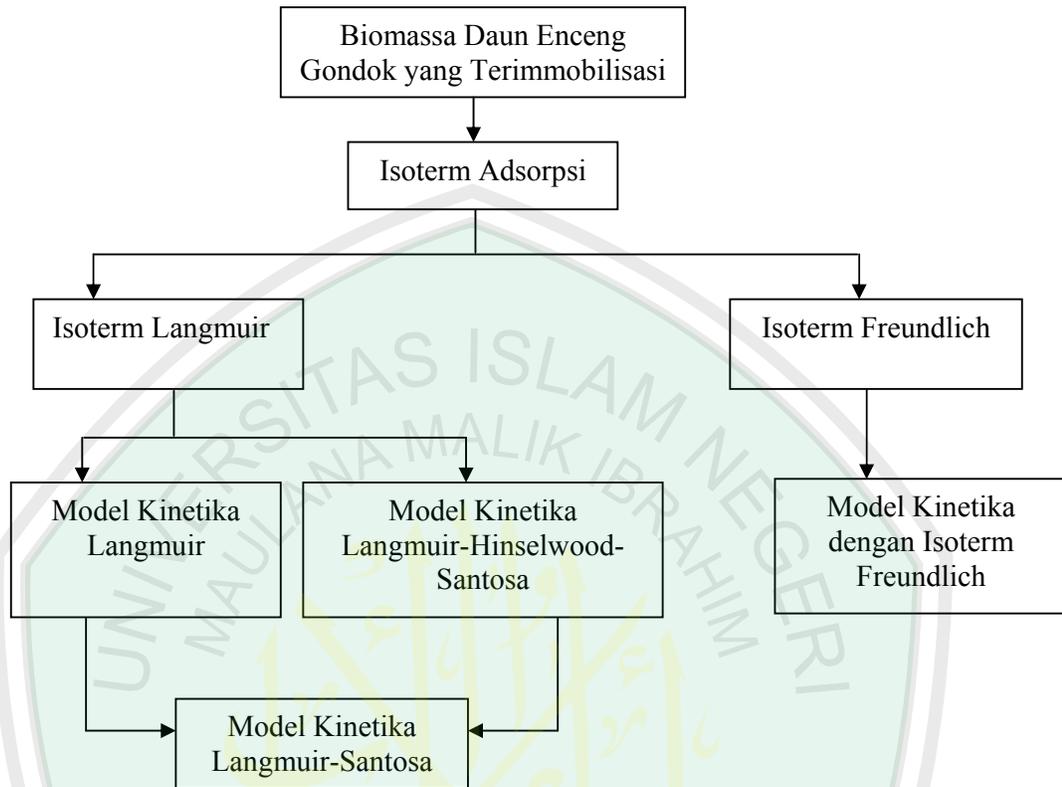
Metode spektrofotometri serapan atom merupakan metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi kuantitas atom logam yang terdapat dalam suatu larutan. Atom-atom dieksitasi dalam discas listrik dari suatu lampu monokromator, kemudian atom-atom logam itu akan memancarkan radiasi bila mereka kembali ke tingkat elektronik yang lebih rendah, radiasi itu bukan suatu kontinum melainkan sebuah frekuensi-frekuensi diskrit yang menyatakan transisi elektron dalam suatu atom logam (Underwood, 2002).



**Gambar 2.5** Komponen spektrofotometri serapan atom (Underwood, 2002).

## 2.11 Kerangka Konseptual

Berdasarkan penelitian terdahulu dan kajian teori serta permasalahan yang telah diungkapkan diawal, berikut disajikan kerangka konseptualnya. Model kerangka konseptual tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Model kinetika yang digunakan untuk menjelaskan proses adsorpsi selama ini mengacu pada mekanisme Langmuir-Hinselwood termasuk model kinetika menurut Langmuir-Hinselwood-Santosa. Mekanisme Langmuir-Hinselwood ini didasarkan pada asumsi sebagai berikut (Gasser, 1985):

1. Reaksi permukaan adalah tahap penentu laju
2. Isotherm Langmuir dapat digunakan untuk menggambarkan keseimbangan yang terjadi antara fase gas dan reaktan adsorbat
3. Reaktan adsorbat bersaing untuk menempati situs-situs aktif pada permukaan
4. Dalam kasus reaksi biomolekuler, reaksinya yang terjadi yaitu antara dua spesies adsorbat.

Model adsorpsi isoterm Langmuir yang pada mulanya dikembangkan dalam teori kinetika gas, kemudian dikembangkan dan diaplikasikan pada adsorpsi antar larutan ( $HgCl_2$ ) dengan padatan (biomassa). Model isoterm Langmuir tidak melibatkan adanya reaksi permukaan, model ini didasarkan pada asumsi sebagai berikut:

1. Permukaan adsorben pada dasarnya adalah homogen
2. permukaan adsorben mempunyai jumlah situs yang spesifik yang masing-masing situs dapat mengadsorpsi satu molekul dan jika semua situs sudah terisi maka tidak mungkin ada adsorpsi lagi.
3. Semua situs adalah sama dan energi yang digunakan untuk mengadsorpsi molekul tidak bergantung pada keberadaan molekul yang lainnya dan kondisi ini terbatas pada satu lapisan.

Pada umumnya laju adsorpsi bergantung pada:

1. kecepatan tumbukan pada permukaan
2.  $f(\theta)$  merupakan fungsi fraksi yang terisi
3. fraksi dari molekul yang mempengaruhi energi aktivasi adsorpsi,  $E_{ads}$  yang biasanya diberikan dari faktor Boltzmann.
4. koefisien kondensasi yaitu fraksi molekul dengan energi yang lebih besar dari  $E_{ads}$  teradsorpsi.

Mekanisme yang dikembangkan oleh Langmuir-Hinselwood yang selama ini dipakai dalam kebanyakan penelitian mempunyai ketidakcocokan jika dipakai dalam proses adsorpsi biasa, karena dalam asumsi yang dikemukakan oleh

Langmuir-Hinselwood tahap penentu laju adalah reaksi permukaan, sementara proses adsorpsi biasa tidak melibatkan reaksi permukaan.

Kelebihan dari model kinetika Langmuir-Hinselwood-Santosa adalah adanya asumsi oleh Santosa bahwa pada saat  $t = 0$  konstanta keseimbangan  $K$  belum memiliki nilai. Model adsorpsi  $Hg^{2+}$  pada biomassa daun enceng gondok dalam penelitian sebelumnya adalah model kesetimbangan Langmuir, hal ini berdasarkan hasil penelitian Al-Ayubi (2008) yang menyimpulkan bahwa adsorpsi merkuri pada biomassa daun enceng gondok mengikuti persamaan adsorpsi Langmuir. Model Langmuir mengasumsikan bahwa situs-situs yang ada dalam adsorben adalah homogen, namun pada penelitian ini situs-situs aktif yang ada dalam biomassa adalah heterogen.

Model keseimbangan adsorpsi  $Hg^{2+}$  pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat memenuhi dua model untuk tahap sebelum terjadi keseimbangan yaitu model Langmuir dan model Freundlich (Barroroh, et.al., 2008).

Asumsi model Freundlich menyatakan bahwa persamaan isothermis Freundlich dapat digunakan untuk menghitung adsorpsi permukaan monolayer yang mempunyai jenis situs pada permukaan yang beragam.

Model kinetika yang diusulkan pada penelitian ini ada 2 yaitu model kinetika Langmuir-Santosa yaitu gabungan dari model kinetika Langmuir dengan model kinetika Santosa dan model kinetika dengan model isothermis adsorpsi Freundlich.

### 2.11.1 Model Kinetika Langmuir-Santosa

Persamaan laju adsorpsi Langmuir terintegrasi yang ada adalah:

$$\ln C_A + KC_A = -k_1 t + Y \quad (38)$$

Asumsi menurut Santosa, pada saat  $t=0$ , konsentrasi spesies A dalam larutan ( $C_A$ ) sama dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) dan parameter K belum ada sebelum proses adsorpsi berlangsung, sehingga persamaannya menjadi :

$$Y = \ln C_0 \quad (39)$$

Substitusi dari persamaan (2) kedalam persamaan (1) menghasilkan :

$$\begin{aligned} \ln C_A + KC_A &= -k_1 t + \ln C_0 \quad \text{atau} \\ \ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right) &= k_1 t + KC_A \end{aligned} \quad (40)$$

persamaan (3) dibagi  $C_A$  menghasilkan :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K \quad (41)$$

Berdasarkan pada persamaan (4) diatas maka konstanta laju adsorpsi orde 1 ( $k_1$ )

dapat ditentukan dari slope pada plot dari  $\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A}$  vs  $\frac{t}{C_A}$  dari persamaan :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K$$

### 2.11.2 Model Kinetika dengan Model Isotermis Adsorpsi Freundlich

Pada model kinetika ini  $\theta_1$  yang berasal dari persamaan isoterm Freundlich dimasukkan dalam persamaan laju adsorpsi, maka akan berlaku hubungan:

$$r_{\text{ads}} = k_a (1 - \theta_1) C_A \quad (42)$$

jika  $\theta_1$  dari Freundlich =  $k_p^{1/n}$   
=  $k C_A^{1/n}$

Dimana  $\theta_1$  = jumlah situs yang ditempati adsorbat

$k$  = kapasitas adsorpsi Freundlich

$1/n$  = konstanta adsorpsi Freundlich atau intensitas adsorpsi

maka persamaan (1) dapat ditulis lagi:

$$r_{\text{ads}} = k_a (1 - k C_A^{1/n}) C_A \quad (43)$$

maka kinetika adsorpsinya akan menjadi:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_a \left( k C_A^{1/n} - 1 \right) C_A$$
$$\frac{dC_A}{dt} = k_a \left( k C_A^{1/n} - 1 \right) C_A \quad (44)$$

Ketika persamaan (3) diintegrasikan :

$$\int \frac{dC_A}{\left( k C_A^{1/n} - 1 \right) C_A} = \int k_a dt \quad (45)$$

Akan diperoleh laju adsorpsi terintegrasi dengan model isotermis adsorpsi Freundlich sebagai berikut:

$$n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right) = k_a t + C \quad (46)$$

Dimana:

1/n : konstanta adsorpsi Freundlich atau intensitas adsorpsi

k : kapasitas adsorpsi Freundlich

$k_a$  : konstanta laju adsorpsi

t : waktu

y atau  $C_A^{1/n}$  : konsentrasi ion logam setelah waktu t

## 2.12 Hipotesa Penelitian

Berdasarkan kerangka konseptual yang tergambar di atas, maka hipotesa yang akan diuji yaitu:

1. Model kinetika yang akan digunakan yaitu model kinetika Langmuir-Santosa.
2. Model kinetika dengan isoterm Freundlich, karena situsnya dari biomasnya bermacam-macam (heterogen).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Malang dan Universitas Brawijaya pada bulan Juli 2007 sampai bulan Maret 2008.

#### **3.2 Bahan-bahan**

##### **3.2.1 Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan sebagai biomassa dalam penelitian ini adalah daun enceng gondok yang diperoleh dari desa Nanggung Kecamatan Prambon Kabupaten Nganjuk.

##### **3.2.2 Bahan Kimia**

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai derajat kemurnian proanalisis, bahan-bahan tersebut meliputi: HCl, merkuri klorida ( $\text{HgCl}_2$ ), NaOH,  $\text{HNO}_3$ , aquadest, aquademineral, asam sulfat 5%, natrium silikat 6%, barium klorida.

#### **3.3 Alat**

Erlemeyer 100 ml dan 250 ml, pipet volume 25 ml, pipet tetes, corong gelas, beaker glass, oven, ayakan 20, 34, 120 dan 150 mesh, pengaduk magnet,

pH universal, neraca Mettler, pengocok listrik (shaker) (Merk SM 25 Edmand Buhler), Spektrofotometer Serapan Atom (Merk SHIMADZU), FTIR tipe 8400 S (Merk SHIMADZU).

### **3.4 Tahapan Penelitian**

Adapun tahap penelitian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan biomassa Enceng gondok
2. Immobilisasi biomassa pada polisilikat
3. Karakterisasi spektra IR enceng gondok setelah diimmobilisasi pada matriks polisilikat.
4. Penentuan model kinetika adsorpsi merkuri pada biomassa enceng gondok terimmobilisasi pada matriks polisilikat.
5. Karakterisasi spektra IR daun enceng gondok terimmobilisasi setelah diinteraksikan dengan ion  $Hg^{2+}$ .

### **3.5 Cara Kerja**

#### **3.5.1 Persiapan Biomassa Enceng Gondok (Setiawan, 2005)**

Tanaman enceng gondok yang diperoleh dipisahkan dari tanahnya dan dicuci. Bagian daun dipisahkan dari akar dan batangnya. Daun enceng gondok dikeringkan pada oven dengan suhu  $90^{\circ}C$  hingga diperoleh berat konstan. Sampel yang telah kering kemudian ditumbuk sampai halus dan kemudian disaring dengan ayakan berukuran 120 mesh, kemudian sampel yang lolos disaring kembali dengan ayakan ukuran 150 mesh. Sampel yang digunakan adalah sampel

yang tertinggal pada ayakan yang berukuran 150 mesh. Sampel dicuci dengan HCl 0,01 M, kemudian dicuci dengan aquades hingga netral. Sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 50 – 60 °C sampai diperoleh berat konstan.

### **3.5.2. Immobilisasi Biomassa pada Polisilikat (Gardea-Torresdey *et al.*, 1995)**

Sebanyak 75 mL asam sulfat 5% dicampur dengan larutan natrium silikat 6% secukupnya untuk menaikkan pH menjadi 2,0. Pada pH 2,0 ditambahkan 5 g biomassa ke dalam larutan silikat, kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 15 menit. Selanjutnya, pH larutan dinaikkan dengan menambahkan larutan natrium silikat 6 % sedikit demi sedikit sampai mencapai pH 7,0. Gel polimer dicuci dengan aquades sampai filtrat tidak membentuk endapan ketika ditetesi dengan larutan barium klorida. Gel polimer dengan biomassa yang telah terimmobilisasi dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama satu malam, kemudian ditumbuk dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel 20-40 mesh.

### **3.5.3. Karakterisasi Adsorben Enceng Gondok setelah Diimmobilisasi dengan Matrik Polisilikat**

Sejumlah sampel dari enceng gondok yang sudah terimmobilisasi dibuat dalam bentuk pelet dengan KBr. Pelet dibuat dengan penghalusan bersama 1 mg sampel dengan 30 mg KBr kering dan diberi tekanan sekitar 1 menit dalam kondisi hampa. Sampel dalam pelet kemudian dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah pada bilangan gelombang antara 4000 – 400 $\text{cm}^{-1}$ , resolusi 2.0, scan 45.

#### **3.5.4 Penetapan Model Kinetika Adsorpsi Merkuri(II) oleh Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisikat dengan Variasi Waktu Kontak**

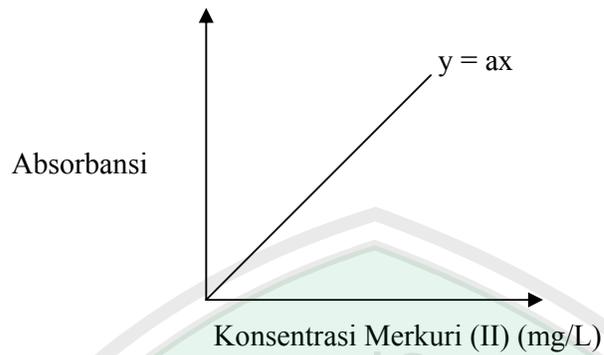
Sebanyak 0,1 gram daun enceng gondok yang telah terimmobilisasi pada matriks polisikat dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml. Kemudian ditambah 25 ml larutan merkuri (II) dengan konsentrasi 100 mg/L, pH 6. Lalu dikocok menggunakan shaker dengan kecepatan 60 rpm dan variasi waktu 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 menit pada suhu 27 °C. Selanjutnya campuran yang dihasilkan disaring dengan kertas saring dan filtrat diambil untuk diukur kadar ion  $\text{Hg}^{2+}$  masing-masing yang tersisa dengan spektrofotometer serapan atom.

#### **3.5.5 Karakterisasi Adsorben Enceng Gondok yang telah Diimmobilisasi dan Diinteraksikan dengan Ion $\text{Hg}^{2+}$**

Sejumlah sampel dari enceng gondok yang sudah terimmobilisasi dan diinteraksikan dengan  $\text{Hg}^{2+}$  dibuat dalam bentuk pelet dengan KBr. Pelet dibuat dengan penghalusan bersama 1 mg sampel dengan 30 mg KBr kering dan diberi tekanan sekitar 1 menit dalam kondisi hampa. Sampel dalam pelet kemudian dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah pada bilangan gelombang antara  $4000 - 400\text{cm}^{-1}$ , resolusi 2.0, scan 45.

#### **3.6 Penentuan Konsentrasi Merkuri (II) dengan Kurva Standar**

Nilai absorbansi dari larutan standar dan konsentrasi larutan standar yaitu 0,5, 1, 50, 150 dibuat kurva standar sehingga dari kurva tersebut akan didapatkan persamaan garis  $y = ax$ , dimana  $y$  adalah absorbansi,  $a$  adalah koefisien dari persamaan garis dan  $x$  adalah konsentrasi



Konsentrasi merkuri (II) yang tersisa ( $C_A$ ) dapat dicari berdasarkan dari kurva standar tersebut, dengan nilai absorbansi yang diperoleh dengan menggunakan spektroskopi serapan atom (AAS). Konsentrasi merkuri (II) yang teradsorpsi diperoleh dari pengurangan konsentrasi awal ( $C_0$ ) dengan konsentrasi sisa ( $C_A$ ).

### **3.7 Analisis Spektroskopi Infra Merah**

Hasil pengujian gugus fungsi dibandingkan dengan biomassa sebelum diinteraksikan dengan merkuri (II). Sehingga, dapat diketahui ikatan molekul antara biomassa yang telah terimmobilisasi dan telah direaksikan dengan merkuri (II) dari perubahan gugus fungsi pada kedua spektra.

### 3.8. Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

#### 3.8.1 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir-Santosa

Model kinetika adsorpsi langmuir-Santosa merupakan gabungan dari model kinetika adsorpsi Langmuir dan model kinetika adsorpsi Santosa, sehingga persamaan yang didapatkan adalah seperti di bawah ini:

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K$$

Dimana:

$C_0$  : konsentrasi awal ion logam dalam larutan

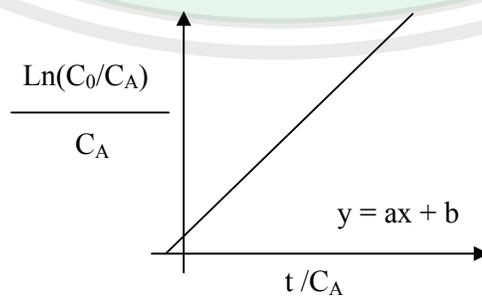
$C_A$  : konsentrasi ion logam setelah waktu  $t$

$K$  : konstanta kesetimbangan adsorpsi

$t$  : waktu

$k_1$  : konstanta laju adsorpsi orde satu

Dari persamaan tersebut akan dibuat grafik antara  $\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A}$  vs  $\frac{t}{C_A}$



Dari grafik di atas akan didapatkan sebuah persamaan garis  $y = ax+b$ , dimana  $a =$  konstanta laju reaksi orde satu ( $k_1$ ) dari slope dari garis linier dan  $b$  adalah konstanta kesetimbangan dari adsorpsi ( $K$ ) dari intersep.

Nilai  $K$  yang diperoleh dari persamaan tersebut dapat digunakan untuk mencari energi adsorpsi dengan rumus  $\Delta E_{ads} = R T \ln K$ , dengan  $R$  adalah tetapan gas ideal (8,314 J/Kmol),  $T$  adalah temperatur (dalam kelvin), dan  $K$  adalah konstanta keseimbangan adsorpsi.

### 3.8.2 Model Kinetika Adsorpsi dengan Model Isoterm Adsorpsi Freundlich

Persamaan yang didapatkan dari model kinetika adsorpsi ini adalah:

$$n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right) = k_a t + C$$

Dimana :

$1/n$  : konstanta adsorpsi Freundlich atau intensitas adsorpsi

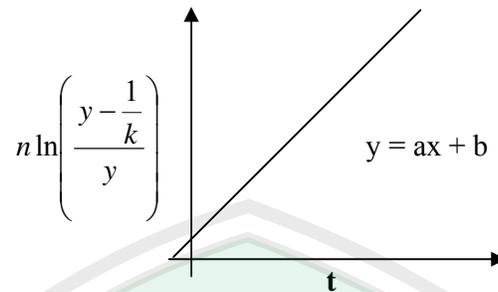
$k$  : kapasitas adsorpsi Freundlich

$k_a$  : konstanta laju adsorpsi

$t$  : waktu

$y$  : konsentrasi ion logam setelah waktu  $t$

Dari persamaan tersebut akan dibuat grafik antara  $t$  vs  $n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right)$



Nilai  $1/n = 0,620$  dan nilai  $k = 0,7568$  (Barroroh, et al, 2008)

Nilai  $R^2$  dan  $R$  yang didapatkan dari masing –masing kurva tersebut digunakan untuk menentukan jenis model yang dipakai. Nilai  $R$  berkisar antara 0 sampai 1 ( $0 \leq R \leq 1$ ), nilai  $R$  (koefisien korelasi) yang mendekati 1 menyatakan bahwa ada hubungan yang linier antara variabel  $x$  dan variabel  $y$ .

Sedangkan  $R^2$  (koefisien determinasi) yang mempunyai interval dari 0 sampai 1 ( $0 \leq R^2 \leq 1$ ) (koefisien determinasi) digunakan untuk menggambarkan persamaan yang didapatkan dari kurva tersebut. Jika  $R^2$  mempunyai nilai yang besar (mendekati 1) maka persamaan yang didapatkan sangat baik, karena variabel  $x$  dapat menerangkan variabilitas dari variabel  $y$ .

### 3.8.3 Model Kinetika Sederhana

Jika kedua model kinetika di atas tidak dapat menjelaskan perilaku kinetika adsorpsi  $\text{Hg}^{2+}$  pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat, maka digunakan model kinetika sederhana. Model kinetika ini dilakukan dengan cara:

1. Membagi zona-zona laju adsorpsi menjadi beberapa tahap linier
2. mengevaluasi setiap tahap laju adsorpsi linier dengan model kinetika adsorpsi Langmuir-Santosa.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakterisasi Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat sebelum dan sesudah Diinteraksikan dengan $Hg^{2+}$ .

Pada pembuatan adsorben daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat, mula-mula asam sulfat dicampur dengan natrium metasilikat sampai pH 2, kemudian ditambahkan biomassa dan diaduk dengan pengaduk magnet lalu ditambah dengan natrium silikat sedikit-demi sedikit sampai pH 7. Penambahan pH ini bertujuan untuk menambah gugus  $OH^-$  dalam larutan sehingga akan mengeraskan gel dan biomassa akan terimmobilisasi pada matriks polisilikat. Biomassa yang telah terimmobilisasi pada matriks polisilikat digunakan untuk mengadsorpsi  $Hg^{2+}$  yang berasal dari larutan  $HgCl_2$ .

Berdasarkan hasil penelitian dari studi kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat, menunjukkan bahwa daun enceng gondok yang terimmobilisasi dapat digunakan untuk mengurangi jumlah konsentrasi merkuri (II) yang ada diperairan. Firman Allah dalam surat Shaad ayat 27:

مَنْ كَفَرُوا لِلَّذِينَ فَوَيْلٌ كَفَرُوا الَّذِينَ ظَنُّوا أَنَّهُمْ بَيْنَهُمْ وَمَا وَاللَّأَرْضِ السَّمَاءَ حَلَقْنَا وَمَا

النَّارِ ﴿٢٧﴾

Artinya: “Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, Maka celakalah orang-orang kafir itu Karena mereka akan masuk neraka”.

Ayat di atas menjelaskan bahwa, semua yang diciptakan oleh Tuhan baik yang ada di langit, di bumi dan disekitarnya mempunyai manfaat yang nyata bagi manusia (Al-Maraghi, 1986). Seperti halnya dengan tumbuhan enceng gondok yang semula hanya dikenal sebagai tumbuhan pengganggu, ternyata tumbuhan ini mempunyai manfaat yang nyata bagi manusia, yaitu salah satunya sebagai adsorben yang digunakan untuk menyerap logam berat dari limbah-limbah industri.

Makna dari kata *bathila* yaitu, semua ciptaan Allah mengandung manfaat dan hikmah-hikmah yang nyata dan rahasia-rahasia yang amat berguna, dan kemaslahatan yang banyak bagi seluruh makhluk-Nya (Al-Maraghi, 1986).

Berdasarkan Qs. as-Syu'ara ayat 7, yang berbunyi:

﴿كَرِيمٍ رَّوَّجَ كُلِّ مِّنْ فِيهَا أَنْبَتَنَا كَرَّ الْأَرْضِ إِلَى يَرَوْا أَوْلَمَ﴾

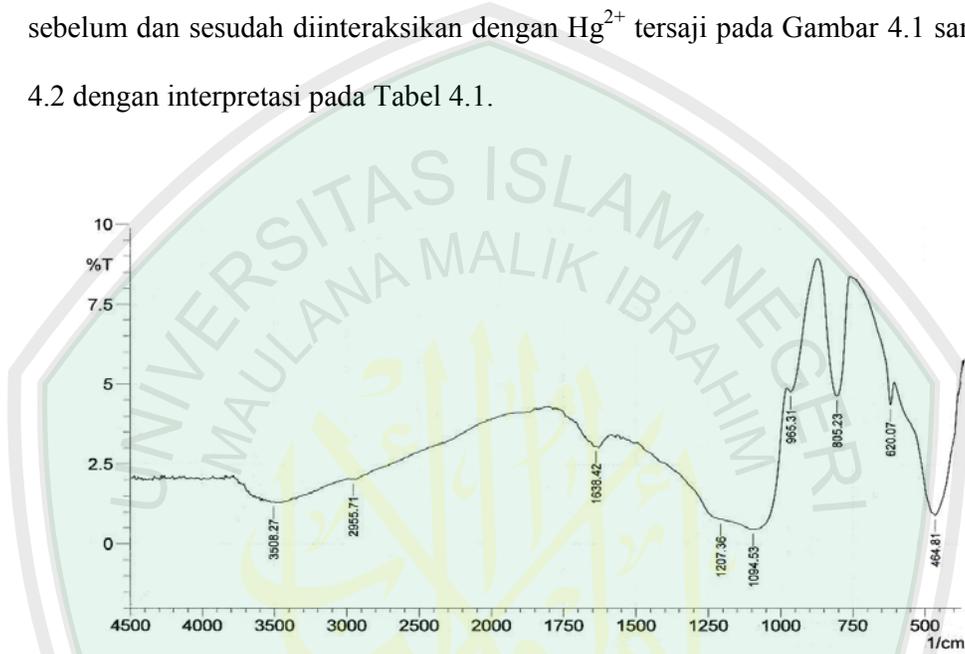
Artinya: *"Dan Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu pelbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik"*.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah menumbuhkan bermacam-macam tumbuhan yang baik dan bermanfaat bagi kehidupan manusia. Tumbuhan enceng gondok merupakan salah satu tumbuhan yang diciptakan oleh Allah dan memiliki banyak sekali manfaat bagi kehidupan manusia.

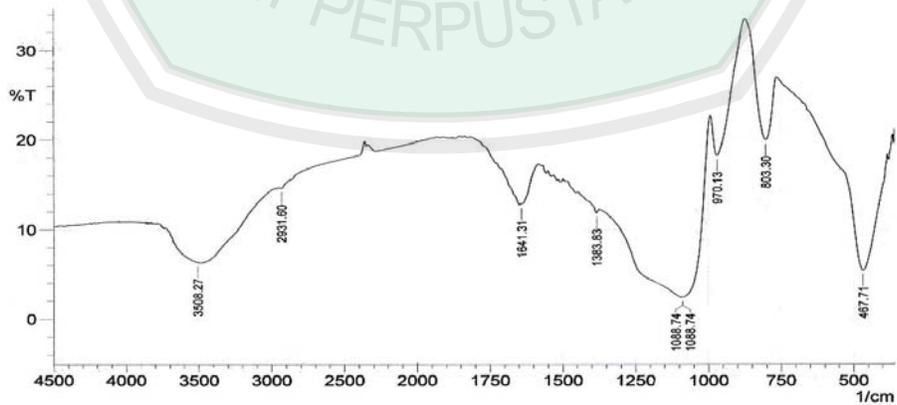
Biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat sebelum dan sesudah digunakan untuk mengadsorpsi logam  $Hg^{2+}$  dikarakterisasi dengan menggunakan Spektroskopi FTIR, kemudian kedua spektra

tersebut dibandingkan untuk mengetahui karakteristik ikatan antara biomassa yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan  $Hg^{2+}$ .

Pola spektra dari biomassa yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan  $Hg^{2+}$  tersaji pada Gambar 4.1 sampai 4.2 dengan interpretasi pada Tabel 4.1.



**Gambar 4.1** Spektra FTIR dari biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat



**Gambar 4.2** Spektra FTIR biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat setelah diinteraksikan dengan  $Hg^{2+}$

**Tabel 4.1** Interpretasi spektra FTIR dari biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan  $Hg^{2+}$

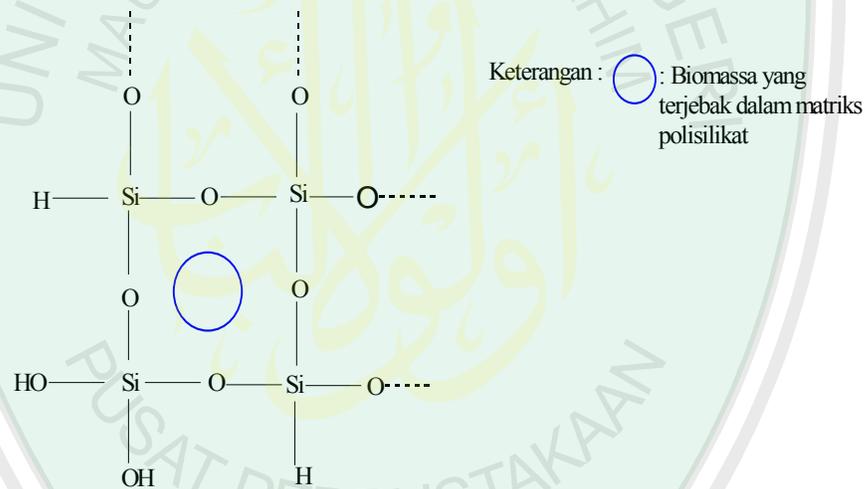
No	Bilangan Gelombang ( $cm^{-1}$ ) Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat		Bilangan Gelombang Referensi ( $cm^{-1}$ )	Intensitas	Interpretasi
	Sebelum diinteraksikan dengan logam $Hg^{2+}$	Sesudah diinteraksikan dengan logam $Hg^{2+}$			
1	3508,27	3508,27	3700-3200	Sedang	Vibrasi ulur O-H dari Si-OH dan O-H dari biomassa
2	2955,71	2931,60	3000-2800	Lemah	Vibrasi ulur C-H alifatik
3	1638,42	1641,31	~1650	Lemah	Vibrasi tekukan dari ikatan molekul $H_2O$
4	-	1383,83	1390-1370	Sedang-kuat	$CH_3$ dari C- $CH_3$
5	1094,53	1088,74 1088,74	1100-1000		Vibrasi ulur asimetri dari Si-O-Si
6	965,31	970,13	985-800	Sedang-kuat	Vibrasi tekuk dari Si-H
7	805,23	803,30	985-800	Sedang-kuat	Vibrasi tekuk dari Si-H
8	620,07	-	625-480	Lemah	Vibrasi ulur simetri dari Si-O-Si
9	464,81	467,71	540-440	Kuat	Vibrasi ulur dari Si-O

Sumber : Socrates (1994)

Berdasarkan spektra FTIR yang terlihat pada Gambar 4.1 serta interpretasi pada Tabel 4.1, tampak bahwa biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat sebelum diinteraksikan dengan  $\text{Hg}^{2+}$  mempunyai pita serapan pada bilangan gelombang  $3508,27 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur O-H dari Si-OH dan daerah ini kemungkinan juga merupakan daerah serapan O-H dari gugus fungsi yang ada dalam biomassa daun enceng gondok karena pada penelitian ini biomassa yang digunakan sudah diimmobilisasi pada matriks polisilikat sehingga tidak hanya ada gugus O-H yang berasal dari matriks tapi juga ada gugus O-H dari gugus-gugus fungsi yang ada pada biomasannya. Hal ini dibuktikan dari spektra biomassa daun enceng gondok hasil penelitian sebelumnya (Rohmawati, 2008) yang mengatakan bahwa ada serapan pada daerah bilangan gelombang  $3424,38 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan daerah vibrasi ulur O-H. Gugus-gugus yang ada dalam biomassa sepintas tidak terlihat, hanya tampak sebagai adanya spektra vibrasi ulur dari C-H alifatik dan  $\text{CH}_3$ , spektra ini tidak mungkin berasal dari polisilikat. Dimungkinkan spektra dari biomassa daun enceng gondok tenggelam atau tumpang tindih diantara struktur matriks polisilikat, seperti misalnya adanya gugus N-H dan O-H pada panjang gelombang  $3367,48 \text{ cm}^{-1}$  yang pada penelitian sebelumnya dijelaskan bahwa spektra dari O-H dan N-H mempunyai serapan yang besar maka dimungkinkan terjadi penumpukan spektra (Rohmawati, 2008).

Sebagaimana dijelaskan pada penelitian sebelumnya (Khalifah, 2008) bahwa interaksi yang terjadi antara matriks polisilikat dengan biomassa daun enceng gondok yang paling dominan adalah peristiwa terjebaknya biomassa daun

enceng gondok pada matriks. Peristiwa terjebaknya biomassa daun enceng gondok ke dalam matriks polisilikat ditandai dengan tidak munculnya lagi spektra dari matriks polisilikat pada daerah panjang gelombang  $2346,24\text{ cm}^{-1}$ ,  $2166,88\text{ cm}^{-1}$ , dan  $1890,11\text{ cm}^{-1}$  dimana daerah ini merupakan daerah atmosfer dari karbon dioksida (Khalifah, 2008). Pengurangan spektra pada daerah panjang gelombang tersebut, dikarenakan rongga-rongga dari karbon dioksida pada matriks polisilikat terisi oleh biomassa daun enceng gondok.



**Gambar 4.3** Struktur dugaan dari biomassa yang terjebak ke dalam matriks polisilikat

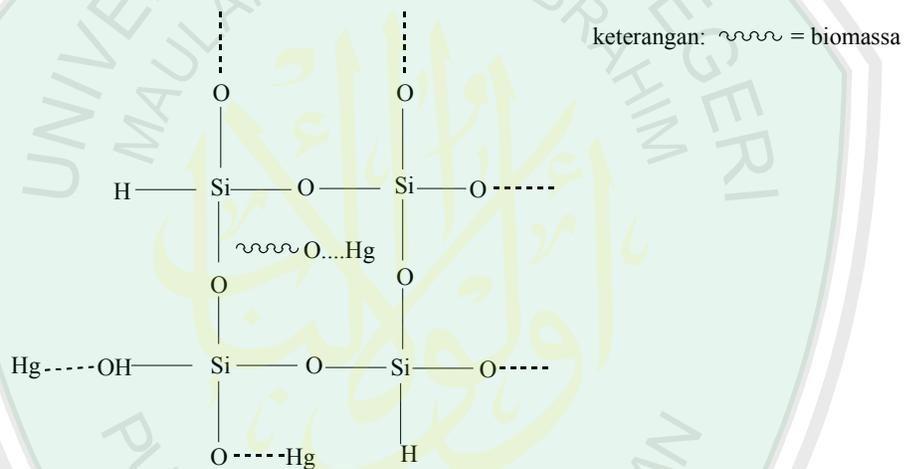
Pita serapan yang terdapat pada bilangan gelombang  $1638,42\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi tekuk dari ikatan molekul  $\text{H}_2\text{O}$ , adanya gugus ini menandakan bahwa di dalam matriks polisilikat masih mengandung air. Munculnya pita serapan pada panjang gelombang  $1094,53\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur asimetri dari Si-O-Si, sementara vibrasi ulur simetri dari Si-O-Si

terdapat pada panjang gelombang  $620,07\text{ cm}^{-1}$ . Munculnya pita serapan pada bilangan gelombang  $464,81\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur dari Si-O. Pita serapan  $965,31\text{ cm}^{-1}$  dan  $805,23\text{ cm}^{-1}$  merupakan daerah vibrasi tekuk dari Si-H, menunjukkan bahwa dalam biomassa yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat masih terdapat ikatan Si-H yang kemungkinan dalam pembuatan matriks polisilikat masih belum sempurna (Khalifah, 2008).

Proses adsorpsi umumnya terjadi dengan energi ikatan yang tidak terlalu besar yaitu sekitar 10-25 kJ/mol, seperti pada penelitian Rohmawati (2008) energi adsorpsi yang dihasilkan sekitar 14-19 kJ/mol, sedangkan pada penelitian sebelumnya tentang studi keseimbangan adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat (Khalifah, 2008) menyebutkan energi adsorpsi yang dihasilkan adalah 23,28585 kJ/mol, sehingga perubahan spektra IR akibat proses adsorpsi biasanya hanya melibatkan pergeseran bilangan gelombang dari gugus yang sama, perubahan model vibrasi dari gugus yang sama, maupun perubahan intensitas serapan pada gugus yang sama.

Spektra biomassa yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat yang telah diinteraksikan dengan  $\text{Hg}^{2+}$  terlihat pada Gambar 4.2. Berdasarkan spektra tersebut diketahui bahwa adanya kenaikan intensitas pada daerah bilangan gelombang  $3508,27\text{ cm}^{-1}$ . Kenaikan intensitas pada bilangan gelombang ini menunjukkan serapan O-H dari Si-OH dan O-H yang berasal dari gugus fungsi biomassa mengalami penurunan. Penurunan serapan ini mengindikasikan bahwa jumlah gugus OH semakin berkurang yang dimungkinkan karena adanya ikatan

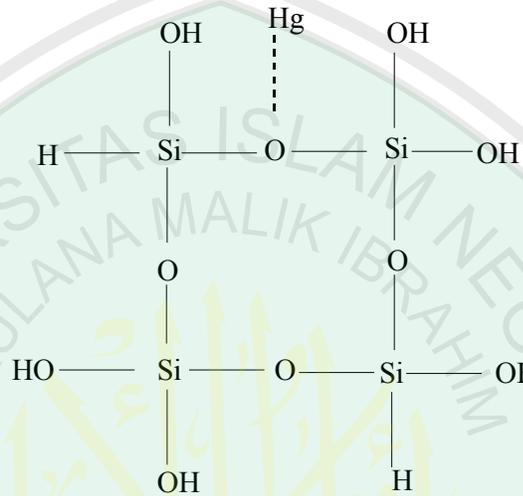
antara  $\text{Hg}^{2+}$  dengan O-H dari Si-OH dan O-H dari gugus fungsi yang ada dalam biomassa. Interaksi yang terjadi antara  $\text{Hg}^{2+}$  dengan O-H diduga merupakan pertukaran kation, hal ini sesuai dengan penelitian Krystiyanti (2008) yang menyatakan bahwa ion  $\text{H}^+$  yang berada dalam biomassa dapat digantikan dengan  $\text{Hg}^{2+}$ . Jadi  $\text{Hg}^{2+}$  yang terserap akan berikatan dengan  $\text{Si-O}^-$  dari matriks dan  $\text{O}^-$  dari biomassa daun enceng gondok.



**Gambar 4.4** Struktur dugaan ikatan antara  $\text{Hg}^{2+}$  dengan O-H dari biomassa dan O-H dari Si-OH

Perubahan vibrasi yang terjadi pada panjang gelombang  $620,07 \text{ cm}^{-1}$ , daerah vibrasi ulur simetri Si-O-Si, yang muncul pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi sebelum diinteraksikan dengan  $\text{Hg}^{2+}$  dan hilang setelah enceng gondok terimmobilisasi diinteraksikan dengan  $\text{Hg}^{2+}$ , hal ini dimungkinkan karena adanya interaksi antara  $\text{Hg}^{2+}$  dengan ikatan Si-O-Si pada kerangka matriks polisilikat, sehingga mengubah model vibrasi dari vibrasi ulur

simetri menjadi vibrasi ulur asimetri Si-O-Si pada panjang gelombang 1088,74  $\text{cm}^{-1}$ .



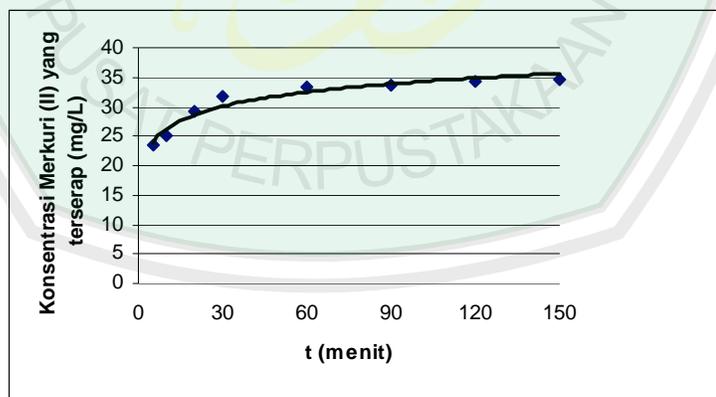
**Gambar 4.5** Struktur dugaan interaksi Si-O-Si dengan  $\text{Hg}^{2+}$

Pada spektra FTIR biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat setelah diinteraksikan dengan  $\text{Hg}^{2+}$  juga terlihat adanya pergeseran bilangan gelombang, hal ini dapat dilihat pada bilangan gelombang 2955,71  $\text{cm}^{-1}$ , menjadi 2931,60  $\text{cm}^{-1}$ , pergeseran ini dimungkinkan karena adanya interaksi antara C-H dengan  $\text{Hg}^{2+}$ .

#### 4.2 Penentuan Model Kinetika Adsorpsi pada Biomassa Daun Enceng Gondok yang Diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat

Kajian ini akan mempelajari tentang pengaruh waktu interaksi antara  $\text{Hg}^{2+}$  dengan adsorben daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat terhadap jumlah  $\text{Hg}^{2+}$  yang teradsorpsi, sekaligus untuk menentukan model kinetika adsorpsinya. Penentuan model kinetika adsorpsi dalam penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan waktu penyerapan dari 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 menit. Proses adsorpsi dilakukan pada pH optimum (pH 6), dalam suhu  $27^{\circ}\text{C}$  dan kecepatan pengocokan 60 rpm dengan konsentrasi  $\text{Hg}^{2+}$  100 mg/L.

Hasil pengamatan pengaruh waktu interaksi terhadap adsorpsi  $\text{Hg}^{2+}$  pada adsorben daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat disajikan pada Gambar 4.6, data selengkapnya pada Lampiran 5.



**Gambar 4.6** Pengaruh waktu interaksi terhadap adsorpsi  $\text{Hg}^{2+}$  pada adsorben daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat

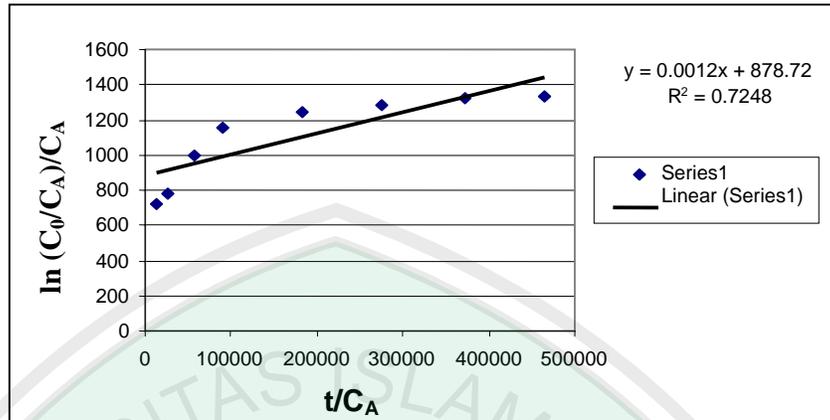
Hasil penelitian seperti pada gambar di atas menunjukkan bahwa adsorpsi  $Hg^{2+}$  berlangsung sangat cepat pada menit-menit awal interaksi dan terus meningkat dengan semakin bertambahnya waktu interaksi. Pada menit awal interaksi, adsorpsi berlangsung semakin cepat karena jumlah situs aktif dalam adsorben masih cukup banyak, setelah proses adsorpsi berlangsung selama 120 menit adsorpsi  $Hg^{2+}$  pada adsorben daun enceng gondok yang terimmobilisasi relatif konstan. Penambahan waktu sampai 150 menit tidak lagi menambah jumlah  $Hg^{2+}$  yang terserap secara signifikan. Pada keadaan ini dapat dianggap telah tercapai keseimbangan dimana semua situs aktif pada adsorben daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat telah jenuh atau semua situs aktif sudah terisi dengan ion  $Hg^{2+}$ .

Model kinetika pertama yang diusulkan dalam penelitian ini adalah model kinetika Langmuir-Santosa. Model kinetika Langmuir-Santosa mengasumsikan bahwa pada saat  $t = 0$ , konsentrasi spesies A dalam larutan ( $C_A$ ) sama dengan konsentrasi awal ( $C_0$ ) dan parameter K belum ada sebelum proses adsorpsi berlangsung, sehingga model kinetika yang digunakan adalah sesuai dengan persamaan 41 pada Bab II, yaitu:

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K$$

Grafik yang didapatkan dari hubungan antara  $\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A}$  vs

$\frac{t}{C_A}$  ditunjukkan pada Gambar 4.7, data selengkapnya pada Lampiran 6:



**Gambar 4.7** Grafik dari model kinetika Langmuir-Santosa

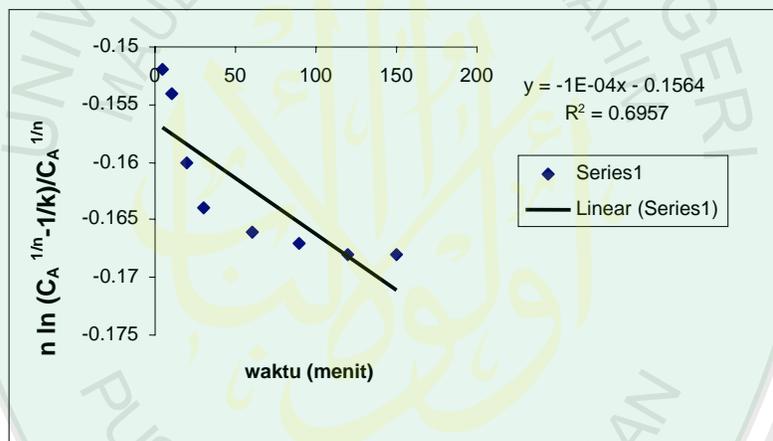
Model Langmuir mengasumsikan bahwa situs aktif adsorben adalah homogen dan adsorpsi terjadi secara monolayer, artinya tidak terdapat variasi energi adsorpsi dari situs-situsnya (Barroroh, et al., 2008). Padahal hal ini bertentangan dengan penelitian Al-Ayubi (2008) yang menyebutkan bahwa pada kenyataannya situs aktif pada biomassa beragam jenisnya atau heterogen dan terdapat banyak jenis interaksi, karena itu penelitian ini juga mencoba model kinetika kedua dengan memasukkan nilai  $\theta_1$  dari isoterm Freundlich ke dalam rumusan laju adsorpsi Langmuir, sehingga akan dihasilkan rumusan laju reaksi terintegrasi seperti pada persamaan 45 pada Bab II, perhitungan selengkapnya terdapat pada Lampiran 4:

$$n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right) = k_a t + C$$

Dimana:  $1/n$  adalah konstanta adsorpsi Freundlich atau intensitas adsorpsi,  $k$  adalah kapasitas adsorpsi. Nilai  $n$  dan  $k$  didapatkan dari isotherm freundlich hasil penelitian Barroroh, et al., (2008).

Hasil pengamatan antara  $t$  terhadap  $n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right)$  ditunjukkan pada

Gambar 4.8 di bawah ini, data selengkapnya pada Lampiran 7:

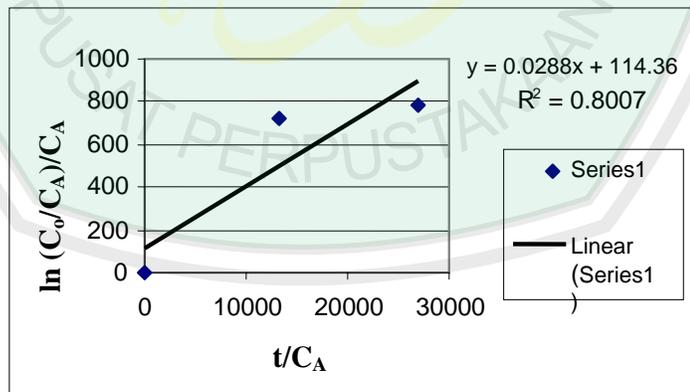


**Gambar 4.8** Grafik dari model kinetika adsorpsi dengan model isotherm adsorpsi Freundlich

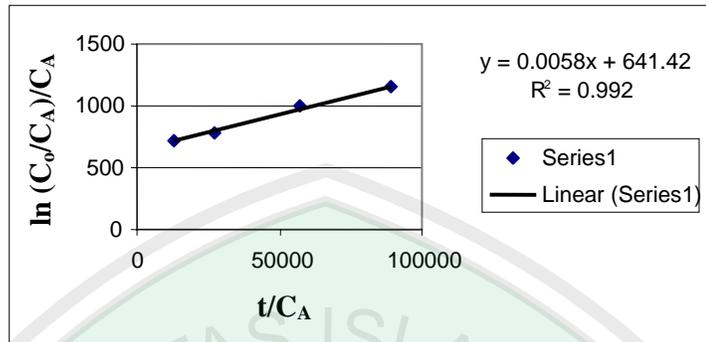
Berdasarkan grafik dari kedua model kinetika di atas diketahui bahwa nilai  $R^2$  yang didapatkan dari model Langmuir-Santosa adalah 0,7248, sedangkan nilai  $R^2$  dari model yang kedua yaitu 0,6786. Nilai  $R^2$  pada model kinetika adsorpsi Langmuir-Santosa lebih besar dari nilai  $R^2$  dari model kinetika yang kedua, akan tetapi kedua model baik model kinetika Langmuir-Santosa maupun Freundlich sama-sama tidak mencukupi untuk mendiskripsikan model kinetika

adsorpsi  $\text{Hg}^{2+}$  pada biomassa daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat, untuk itu digunakan model kinetika adsorpsi sederhana dengan membagi tahap laju reaksi menjadi tiga tahap linier. Untuk menganalisa tiap tahap linier digunakan model kinetika Langmuir-Santosa.

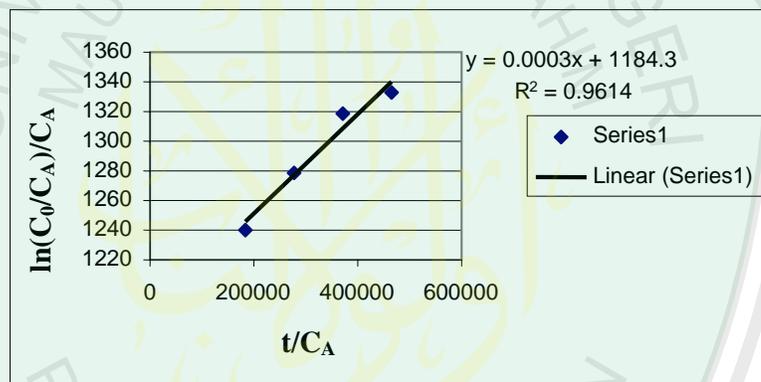
Proses adsorpsi yang terjadi berdasarkan grafik dari model kinetika Langmuir-Santosa dapat dibagi dalam tiga tahap linier yaitu tahap I, tahap II, dan tahap III. Tahap I atau tahap cepat terjadi pada menit ke 0 sampai menit ke 10, tahap II atau tahap lambat terjadi pada menit ke 5 sampai menit ke 30, sedangkan tahap III atau tahap mencapai keseimbangan terjadi pada menit ke 60 sampai menit ke 150. Grafik dari model kinetika Langmuir-Santosa pada tiap tahap laju yang linier ditunjukkan pada Gambar 4.9, 4.10, 4.11, data selengkapnya pada Lampiran 8:



**Gambar 4.9** Model kinetika Langmuir-Santosa tahap I (0-10)



**Gambar 4.10** Model kinetika Langmuir-Santosa tahap II (5-30)



**Gambar 4.11** Model kinetika Langmuir-Santosa tahap III (60-150)

Nilai konstanta laju adsorpsi ( $k_1$ ), konstanta keseimbangan (K) dan nilai dari energi adsorpsi ( $\Delta E_{ads}$ ) dari ketiga tahap tersebut ditunjukkan dalam Tabel 4.2 di bawah ini, perhitungan selengkapnya pada Lampiran 8:

**Tabel 4.2.** Parameter kinetika adsorpsi menurut Langmuir-Santosa

Parameter kinetika adsorpsi Langmuir-Santosa				
Waktu (t) (menit)	Konstanta Laju Adsorpsi ( $k_1$ ) (menit) <sup>-1</sup>	Konstanta Keseimbangan (K) (mol/L) <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>	$\Delta E_{ads}$ (kJ/mol)
0-10	0,0288	114,36	0,8007	11,820
5-30	0,0058	641,42	0,992	16,174
60-150	0,003	1184,3	0,9641	17,651

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 di atas terlihat bahwa adsorpsi  $Hg^{2+}$  pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat berlangsung dengan konstanta laju  $288 \times 10^{-4}$  pada menit 0 sampai menit ke 10, sedangkan pada menit ke 5 sampai ke 30 mempunyai konstanta laju adsorpsi yaitu  $58 \times 10^{-4}$ , dan pada menit ke 60 sampai 150 konstanta lajunya adalah  $3 \times 10^{-4}$ . Hal ini menggambarkan bahwa laju adsorpsi pada tahap I > tahap II > tahap III, karena semakin besar konstanta laju adsorpsi maka laju juga akan semakin cepat.

Pada penelitian Rohmawati (2008), juga disebutkan bahwa konstanta laju adsorpsi pada masing-masing tahap yaitu  $4,1 \times 10^{-2}$  untuk tahap I,  $8 \times 10^{-4}$  pada tahap II, dan pada tahap III nilainya sebesar  $4 \times 10^{-5}$ , maka laju adsorpsi dari kinetika sederhana Langmuir pada tahap I > II > III. Berdasarkan nilai konstanta laju adsorpsi tersebut, laju adsorpsi yang didapatkan dari penelitian ini lebih lambat, karena dimungkinkan situs-situs yang ada dalam biomassa berkurang. Penelitian Khalifah (2008) menyebutkan bahwa kemungkinan berkurangnya situs aktif dalam biomassa daun enceng gondok karena adanya situs aktif dalam

biomassa daun enceng gondok yang terhalangi oleh matriks, sehingga gugus aktif enceng gondok tergantung dengan gugus aktif matriks.

Persamaan kinetika adsorpsi juga dapat digunakan untuk menentukan besarnya nilai energi adsorpsi. Energi adsorpsi dapat digunakan untuk menentukan apakah adsorpsi ini adsorpsi kimia atau adsorpsi fisika. Batas energi adsorpsi kimia menurut Lyman (1995) adalah 42-420 kJ/mol. Hasil nilai energi adsorpsi yang dihasilkan dari persamaan Langmuir-Santosa dalam Tabel 4.2 pada tahap I sebesar 11, 820 kJ/mol, tahap II sebesar 16,174 kJ/mol, tahap III sebesar 17,651 kJ/mol, maka adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat di atas menunjukkan bahwa ikatan yang terjadi antara situs-situs aktif yang terdapat dalam biomassa daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan ion  $Hg^{2+}$  rata-rata merupakan interaksi fisisorpsi, akan tetapi karena jenis interaksinya beragam, maka mungkin juga ada jenis interaksi kimia tetapi tidak dominan. Adsorpsi fisika biasanya melibatkan gaya intermolekuler, misalnya gaya Van Der Waals dengan energi ikatan dibawah 5 kkal/mol atau kurang dari 20 kJ/mol (Fessenden dan Fessenden, 1982) dan adanya ikatan hidrogen dengan energi ikatan antara 5-10 kkal/mol atau 20-40 kJ/mol (Hard, 1983), sehingga ikatan antara bioamassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan ion  $Hg^{2+}$  sangat lemah, sehingga dimungkinkan terjadinya *recovery*.

Penelitian Khalifah (2008) menyebutkan bahwa interaksi yang terjadi antara biomassa daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat merupakan interaksi kemisorpsi, hal ini juga disebutkan pada penelitian

Al-Ayubi (2008) yang menyatakan bahwa yang lebih berperan dalam adsorpsi merkuri (II) oleh biomassa daun enceng gondok adalah pertukaran ion. Sementara hasil analisis FTIR diketahui bahwa ion  $Hg^{2+}$  ada yang mampu menggantikan  $H^+$  yang ada dalam gugus fungsi biomassa dan juga gugus fungsi dari matriks polisilikat. Hal ini membuktikan bahwa interaksi yang terjadi antara biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan ion  $Hg^{2+}$  juga ada interaksi kimia.

Berdasarkan penjelasan di atas diketahui bahwa model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat mengikuti model kinetika Langmuir-Santosa pada setiap tahap laju yang linier, karena dalam penelitian ini situs-situs aktif yang ada sangat beragam (heterogen). Berdasarkan nilai energi adsorpsi yang dihasilkan dalam setiap tahap laju linier menunjukkan bahwa jenis ikatan atau interaksi yang terjadi tidak hanya satu jenis ikatan, sehingga rata-rata ikatan yang terjadi antara biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan  $Hg^{2+}$  merupakan ikatan fisisorpsi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, Z., 2006, *Merkuri Antara Manfaat Dan Efek Penggunaannya Bagi Kesehatan Manusia Dan Lingkungannya*, Medan :Universitas Sumatra Utara Repository.
- Al-Maraghi, A. M., 1986, *Terjemah Tafsir AL-Maraghi*, Semarang: Penerbit CV Toha Putra.
- Alexandera, T., 2007, *Rahasia Elemen Besi dalam al-Qur'an*, Diambil dari buku Matematika Alam Semesta Karya Arifin Muftie.
- Al-Ayubi, C., 2008, *Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri (II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (Eichhornia crassipes)*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Malang.
- Alviera, 2006, *Studi Kemampuan Adsorpsi Silika Gel Hasil Sintesis Dari Natrium Silikat Terhadap Kromium(VI)*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Universitas Brawijaya.
- Al-Qur'an dan Terjemahannya*, Departemen Agama RI, 1990, Jakarta.
- Anonymous, 2007, *Pencemaran Merkuri Dari Darat ke Laut*, [Http://kompas.com/kompak-cetak/0412/02/bahari/1412383.htm](http://kompas.com/kompak-cetak/0412/02/bahari/1412383.htm).
- Atkins, P., W., 1999, *Kimia Fisika Jilid 2*, Jakarta: Erlangga.
- Barroroh, H., Khalifah, S.N., Dewi, D.C., 2008, *Mercury (II) Equilibrium Adsorption Study On Immobilized Water Hyacinth (Eichornia crassipes) Leaf Biomass On Polysilica Matrix*, Prosiding Seminar Nasional Kimia XVII, 10 Juli 2008, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Bernasconi, G., 1995, *Teknologi Kimia, bagian II, cetakan I*, Alih Bahasa oleh Lienda Handojo, Jakarta: PT. Pradnya Paramita, pp 53
- Budiono, A., 2003, *Pengaruh Pencemaran Merkuri terhadap Biota Air*, Makalah Pengantar falsafah Sains (PPS702) Institut Pertanian Bogor.

- Chang, R., 1981, *Physical Chemistry with- Application to Biological System Second Edition*, MAC MILLAN PUBLISHING CO., INC, New york.
- Dewi, D., C., Himmatul, B., Tri, K., A., 2006, *Besi Material Istimewa dalam al-Qur'an*, Malang: UIN Malang Press
- Fessenden dan Fessenden, 1995, Alih Bahasa Aloysius Hadyana Pudjaatmaka Ph.D, *Kimia Organik Jilid II Edisi ke-3*, Jakarta: Erlangga.
- Fessenden dan Fessenden, 1982, Alih Bahasa Aloysius Hadyana Pudjaatmaka Ph.D, *Kimia Organik Jilid Edisi ke-3*, Jakarta: Erlangga.
- Gani, A. B., 1986, *Beberapa Aspek Ilmiah Tentang Quran*, Jakarta: PT Ilmu al-Quran.
- Gamez, G., Doken, K., Tieman, J. and Herrera, I., 1999, *Spectroscopy Studies of Gold(III) Binding to Alfalfa Biomass*, Proceeding of the 1999 Conference on Hazardous Waste Research, pp. 78 – 79.
- Gardea-Torresdey, J.L., Tieman, J.H. Gonzales, Q., Rodriquez and G.Gamez, 1997, *Phytofiltration of Hazardous Cadmium, Chromium, Lead, Enzinc, Ions by Biomass of of Medicago Sativa (Alfalfa)*, J.of Haz. Mat.
- Gardea-Torresdey, J.L., J.H. Gonzalez, K.J. Tiemann, O. Rodriguez, and G. Gamez, 1995, *“Removal of Copper Ions From Solution By Silica-Immobilized Medicago Sativa (Alfalfa)”*, *J. of Hazardous Materials*.
- Gasser, R. P. H., 1985, *An Introduction to Chemisorption and Catalysis by Metals*, Clarendoon Press, Oxford.
- Glasstone, Samuel., Keith. J. Laidler, and Henry Eyring, PH. D, 1941, *“The Kinetics of Chemical Reaction, Viscosity, Diffusion and Elektrochemical Phenomena”*, MC Graw-Hill Book Company, Inc New York and London.
- Hayati, E. K., 2007, *Dasar - Dasar Analisis Spektroskopi*, Malang: Kantor Jaminan Mutu Universitas Islam Negeri Malang.
- Hard, H., 1983, Alih Bahasa Dr. Suminar Achmadi Ph.D, *Kimia Organik, Edisi Keenam*, Jakarta: Erlangga.

- Hasyim, 2007, *Enceng Gondok Pembersih Polutan Logam Berat*, Kompas
- Hennisch, H.K., 1988, "*Crystals in Gels And Liesegang Rings*", Press Syndicate of the University of Cambridge, Melbourne.
- Hernowo, S. dan Sipon. M., 1999, *Kajian Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Industri dan Penyelamatan Lingkungan Hidup di Daerah Perairan*. Fakultas Kehutanan Mulawarman, Samarinda.
- Krystiyanti, K., 2008, *Adsorpsi Merkuri (II) oleh Biomassa Daun Enceng Gondok yang Diimobilisasi pada Matriks Polisilikat Menggunakan Metode Kolom*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Malang.
- Kusuma, E. D., 2002, *Kajian Kinetika Adsorpsi Paraquat pada tanah pertanian kaolinit Sukamandi Jawa Barat*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Jogjakarta Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada.
- Kirk-Othmer, 1981, *Encyclopedia Of Chemical Technology*, 3<sup>rd</sup> Ed., Vol 24, John Wiley And Sons New York.
- Khalifah, S.N., 2008, *Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri (II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (Eichhornis Crassipes) Yang Diimobilisasi Pada Matriks Polisilikat*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Malang.
- Kopkar, 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Jakarta: Universitas Indonesia-Press.
- Larkin, P., 1965, *About university Chemistry*, Krueger. Co, USA.
- Lestari, D., 2006, *Adsorpsi Kobal (II) Menggunakan Biomassa Daun Rumput Gajah (Pennisetum purpureum Schumach)*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Universitas Brawijaya.
- Listianti, W., 2004, *Studi Interaksi Antara Humin Dengan Nikel (II) Dan Magnesium (II) Dalam Medium Air*, Tesis Kimia Tidak Diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

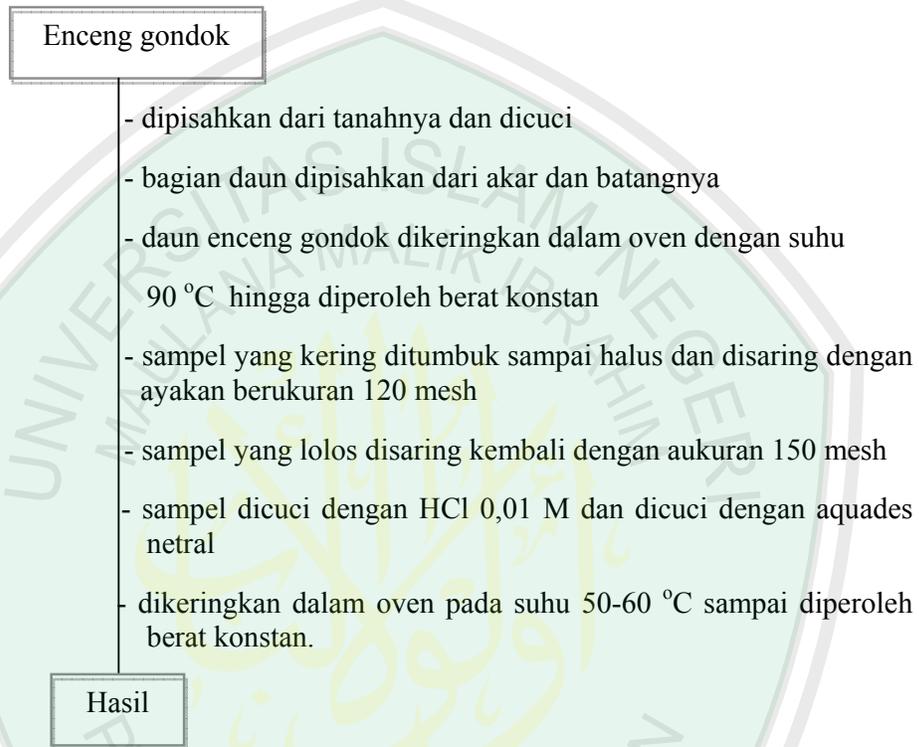
- Lyman, M. M., Kliduf. J. E., and Weber, Jr. W.J, 1995, "*Adsorption of p-Nitrophenol from Dilute Aqueous Solution*", Journal Chemical Educ., No 72,
- Martaningtyas, D., 2004, *Bahaya Cemaran Logam Berat*. Pikiran Rakyat Ciber Media
- Oscik, J, 1982, *Adsorption*. John Wiley and Sons. New York.
- Palar, H., 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Jakarta: Rineka Cipta.
- Pasya, A., F., 2004, *Dimensi Sains Al-Qur'an, Menggali Ilmu Pengetahuan dari Al-Qur'an*, Solo: Tiga Serangkai.
- Poejiadi, A., 1994, *Dasar-dasar Biokimia*, Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Putra, S. E., 2007, *Potensi Alga sebagai Bioindikator dan Biosorben Logam Berat*, Karya Tulis Ilmiah, Universitas Lampung.
- Putra, S. E., dan Johan A. P., 2007, *Bioremoval, metode alternatif untuk menanggulangi pencemaran lingkungan*, Himpunan Mahasiswa Kimia Universitas Brawijaya.
- Ratna, A.,Y.,D, 2006, *Karakterisasi Adsorpsi Timbal (II) Pada Adsorben Kitosan-Alumina*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- Rohmawati, L., 2008, *Studi Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (Eichhornia crassipes)*, Skripsi tidak diterbitkan, Malang: Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Malang
- Rossa, S. D., 2004, *Pengaruh Logam Berat Merkuri Terhadap Potensial Membrane Sel Akar Kedelai*, Skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Malang.
- Salah, N., 2004, *Studi Interaksi Antara Humin dan Logam Cu (II) Dan Cr (II) dalam Medium Air*, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

- Santosa, S. J., 2001, *Single and Competitive Adsorption Kinetics of Cd (II) and Cr (II) by Humic Acid. To be submitted to Journal of Soil. Sci.*
- Sawyer, C.N, and Mc Charty, P.L., 1987, *Chemistry for Engineering. Third Edition, McGraw. Hill Book Company, New York. pp. 89*
- Setiawan, H., 2005, *Adsorpsi Kromium (III) dalam Larutan oleh Biomassa Akar Rumput Gajah*, Skripsi Kimia Tidak Diterbitkan, Malang: Universitas Brawijaya.
- Shihab, M. Q., 2002, *Tafsir Al Mishbah (Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an)*, Ciputat: Lentera Hati.
- Solecha, D. I, dan Kuswandi, B., 2002, *Penentuan Cu (II) dalam Sampel Air Secara Spektrofotometri Berbasis Reagen Kering TAR/PVC (Determination of Cu(II) Ions in Aqueous Samples by Spectrophotometry Based on Dry Reagent TAR/PVC)*, Jurnal Ilmu Dasar vol 3, FMIPA, Universitas Jember.
- Socrates, G., 1994, *Infrared Characteristic Group Frequencies*, Chicester, New York, Brisbane, Toronto
- Sudarmaji, 2005, *Pencemaran logam berat di Kali Surabaya dan Dampaknya pada Kesehatan Masyarakat*, seminar Lingkungan V11, FMIPA Universitas Airlangga Surabaya
- Sukardjo, 2002, *Kimia Fisika*, Jakarta: Rineka Cipta.
- Underwood, A., L and Day, R., A, 2002, *Analisis Kimia Kuantitatif*, Jakarta: Erlangga.
- Widiyatna, D., Bambang, T., Rudy, g., mulyana, S., dan Zamri, T., 2005, *Pendataan Sebaran Merkuri di daerah Cineam, kab. Tasikmalaya, Jawa Barat dan Sangon, kab. Kulon progo, di Yogyakarta*, Subdit Konservasi.
- Wirahadikusumah, M, 1997, *Biokimia; Protein, Enzim, dan Asam Nukleat*, Institut Teknologi Bandung; Bandung.
- Weber, Jr., W.J, 1977, *Physics Chemical Process for Water Quality Control*, John Wiley Interscience, New York,

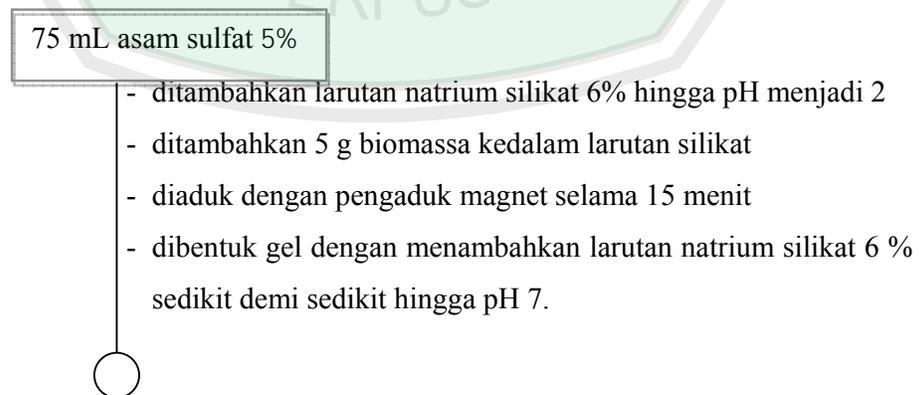
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Skema Kerja

#### L.1.1 Preparasi Biomassa Daun Enceng Gondok



#### L.1.2 Immobilisasi Biomassa pada Matriks Polisilikat



- gel polimer dicuci dengan aquades sampai filtrat tidak membentuk endapan ketika ditetesi dengan larutan barium klorida
- dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama satu malam
- ditumbuk dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel 20-34 mesh

Hasil

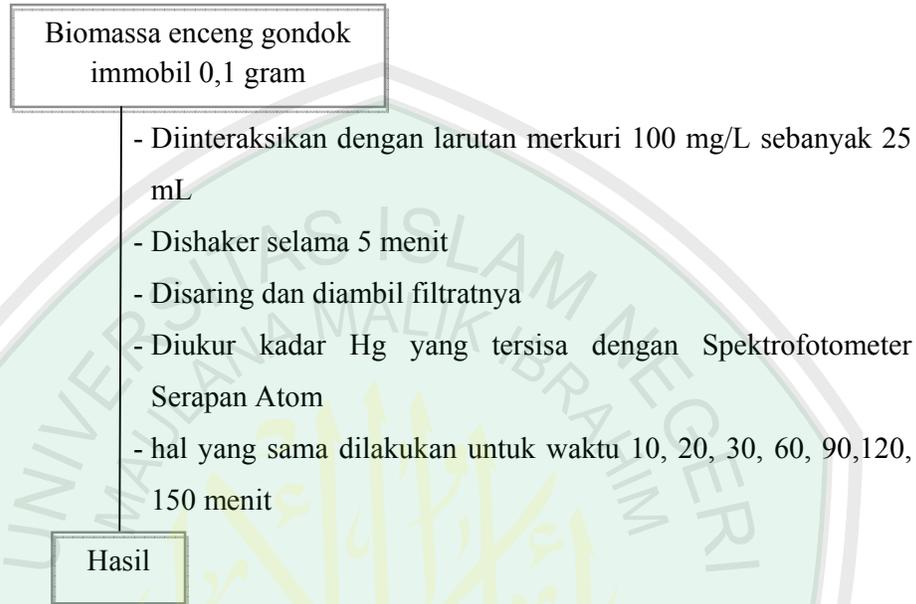
### **L.1.3 Karakterisasi Adsorben Daun Enceng Gondok setelah Diimmobilisasi dengan Matrik Polisilikat.**

Sampel biomassa yang telah diimmobilisasi matriks polisilikat

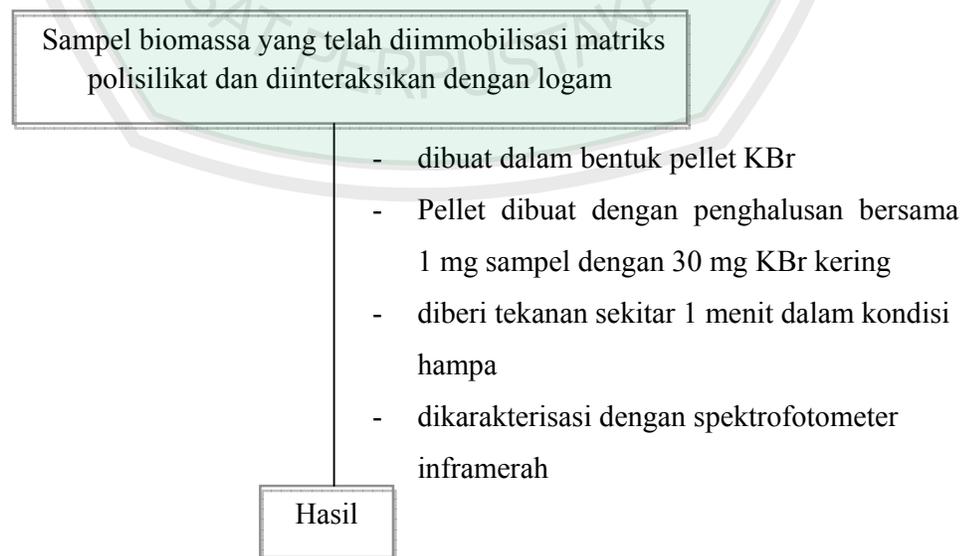
- dibuat dalam bentuk pellet KBr
- Pellet dibuat dengan penghalusan bersama 1 mg sampel dengan 30 mg KBr kering
- diberi tekanan sekitar 1 menit dalam kondisi hampa
- dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah

Hasil

**L.1.4 Penetapan Model Kinetika Adsorpsi Merkuri oleh Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dengan Memvariasi Waktu Kontak**



**L.1.5 Karakterisasi Adsorben Daun Enceng Gondok yang telah Diimmobilisasi dan Diinteraksikan dengan Merkuri (II).**



## Lampiran 2. Preparasi Larutan

### L.2 .1 Perhitungan Preparasi Larutan

#### L.2.1.1. Larutan HCl 0,1 M

Untuk membuat larutan HCl 0,1 M sebanyak 500 ml adalah:

$$\begin{aligned}\text{mol HCl (n)} &= m \times V \\ &= 0,1 \text{ M} \times 0,5 \text{ L} \\ &= 0,05 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HCl} &= n \times \text{Mr} \\ &= 0,05 \text{ mol} \times 36,46 \text{ g/mol} \\ &= 1,823 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HCl} = \frac{\text{massa}}{\% \text{ x } bj} = \frac{1,823}{0,37 \times 1,19} = 4,1 \text{ ml}$$

#### L.2.1.2 Larutan HNO<sub>3</sub> 1 M

Untuk membuat larutan HNO<sub>3</sub> 1 M sebanyak 500 ml adalah:

$$\begin{aligned}\text{mol HNO}_3 \text{ (n)} &= m \times V \\ &= 1 \text{ M} \times 0,5 \text{ L} \\ &= 0,5 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HNO}_3 &= n \times \text{Mr} \\ &= 0,5 \text{ mol} \times 63 \text{ g/mol} \\ &= 31,5 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{massa}}{\% \text{ x } bj} = \frac{31,5}{0,65 \times 0,37} = 130,97 \text{ ml}$$

#### L.2.1.3 Larutan NaOH 1 M

Untuk membuat larutan NaOH 1 M sebanyak 500 ml adalah:

$$\begin{aligned}\text{mol NaOH (n)} &= m \times V \\ &= 1 \text{ M} \times 0,5 \text{ L} \\ &= 0,5 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa NaOH} &= n \times \text{Mr} \\ &= 0,5 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 20 \text{ gram}\end{aligned}$$

#### L.2.1.4 Natrium Silikat 6 %

Untuk membuat larutan natrium silikat 6 % sebanyak 100 mL adalah:

Diketahui: natrium silikat yang dipakai adalah 99 %

Maka,  $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

$$99 \% \times V_1 = 6 \% \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{6 \% \times 100 \text{ mL}}{99 \%}$$

$$V_1 = 6,06 \text{ mL}$$

#### L.2.1.5 Larutan Asam Sulfat 5 %

Untuk membuat larutan asam sulfat 5 % sebanyak 100 mL adalah:

Diketahui: asam sulfat yang dipakai adalah 98 %

Maka,  $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$

$$98 \% \times V_1 = 5 \% \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{5 \% \times 100 \text{ mL}}{98 \%}$$

$$V_1 = 5,10 \text{ mL}$$

#### L.2.1.6 Larutan Baku Hg (II) 1000 ppm (mg/l)

Untuk membuat larutan Hg (II) sebanyak 1000 ml dari  $\text{HgCl}_2$  adalah :

$$\text{Massa HgCl}_2 = \frac{Mr_{\text{HgCl}_2}}{Ar_{\text{Hg}}} \times \text{Massa Hg}$$

$$= \frac{271,50}{200,59} \times 1000 \text{ mg}$$

$$= 1353,50 \text{ mg}$$

$$= 1,35 \text{ gram}$$

Contoh perhitungan larutan baku Hg 100 ppm sebanyak 100 ml dibuat dari larutan standar Hg(II) 1000 ppm, menggunakan rumus :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 100 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 10 \text{ ml}$$

## **L.2.2 Pembuatan Larutan**

### **L.2.2.1 Larutan HCl 0,1 M**

HCl pekat (37 %,  $\rho = 1,19 \text{ g/ml}$ ) dipipet 4,1 ml dan dimasukkan dalam labu takar 500 ml yang telah diisi aquademin seperempat bagian, kemudian diencerkan dengan aquademin sampai tanda batas.

### **L.2.2.2 Larutan HNO<sub>3</sub> 1 M**

HNO<sub>3</sub> pekat (65 %,  $\rho = 1,4 \text{ g/ml}$ ) dipipet 130,97 ml dan dimasukkan dalam labu takar 500 ml yang telah diisi aquademin seperempat bagian, kemudian diencerkan dengan aquademin sampai tanda batas

### **L.2.2.3 Larutan NaOH 1 M**

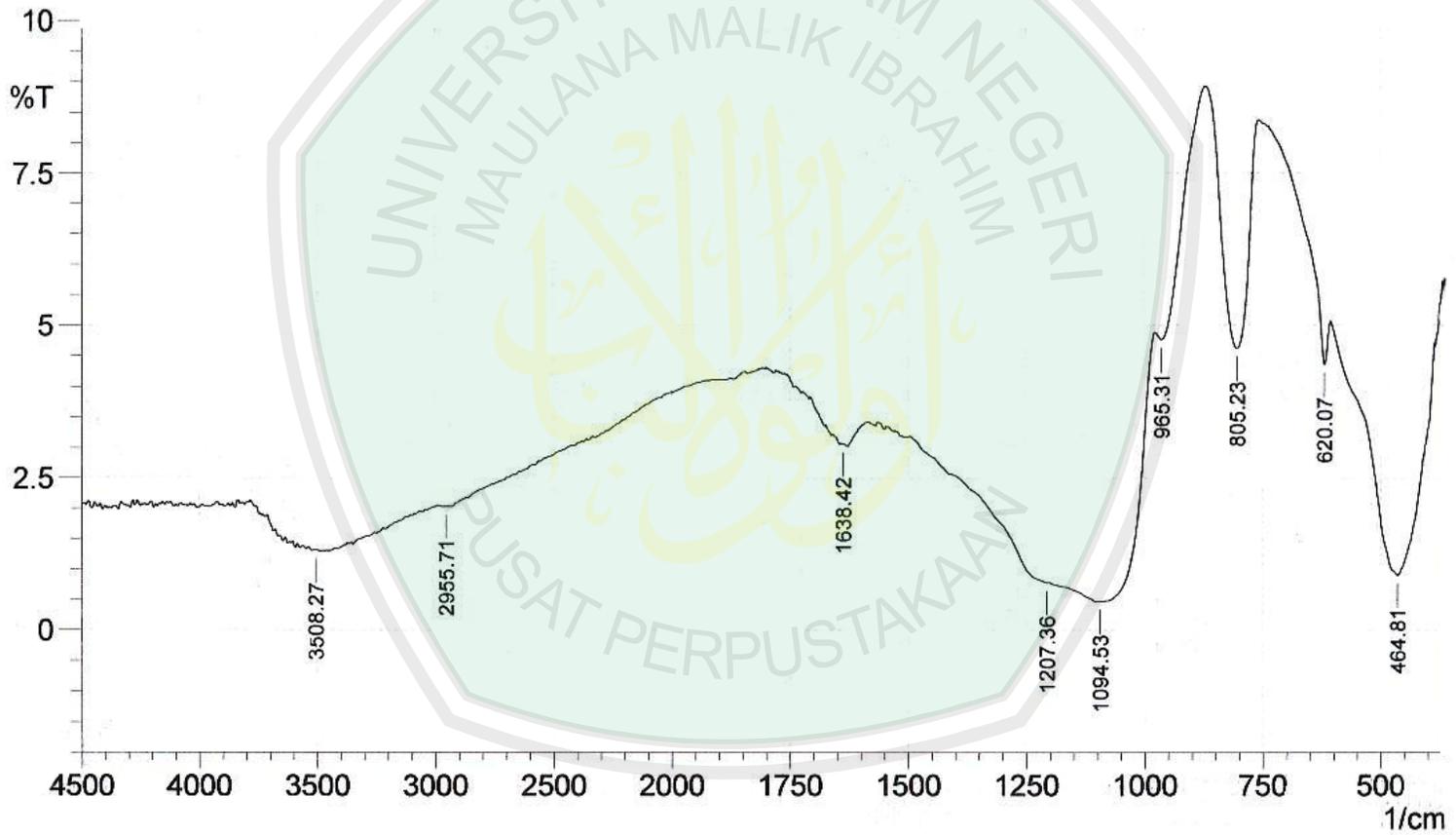
NaOH ditimbang 20 gram dalam gelas beaker, dilarutkan dalam labu takar 500 ml, kemudian diencerkan dengan aquademin sampai tanda batas.

### **L.2.2.4 Larutan Baku Hg (II) 1000 ppm (mg/l)**

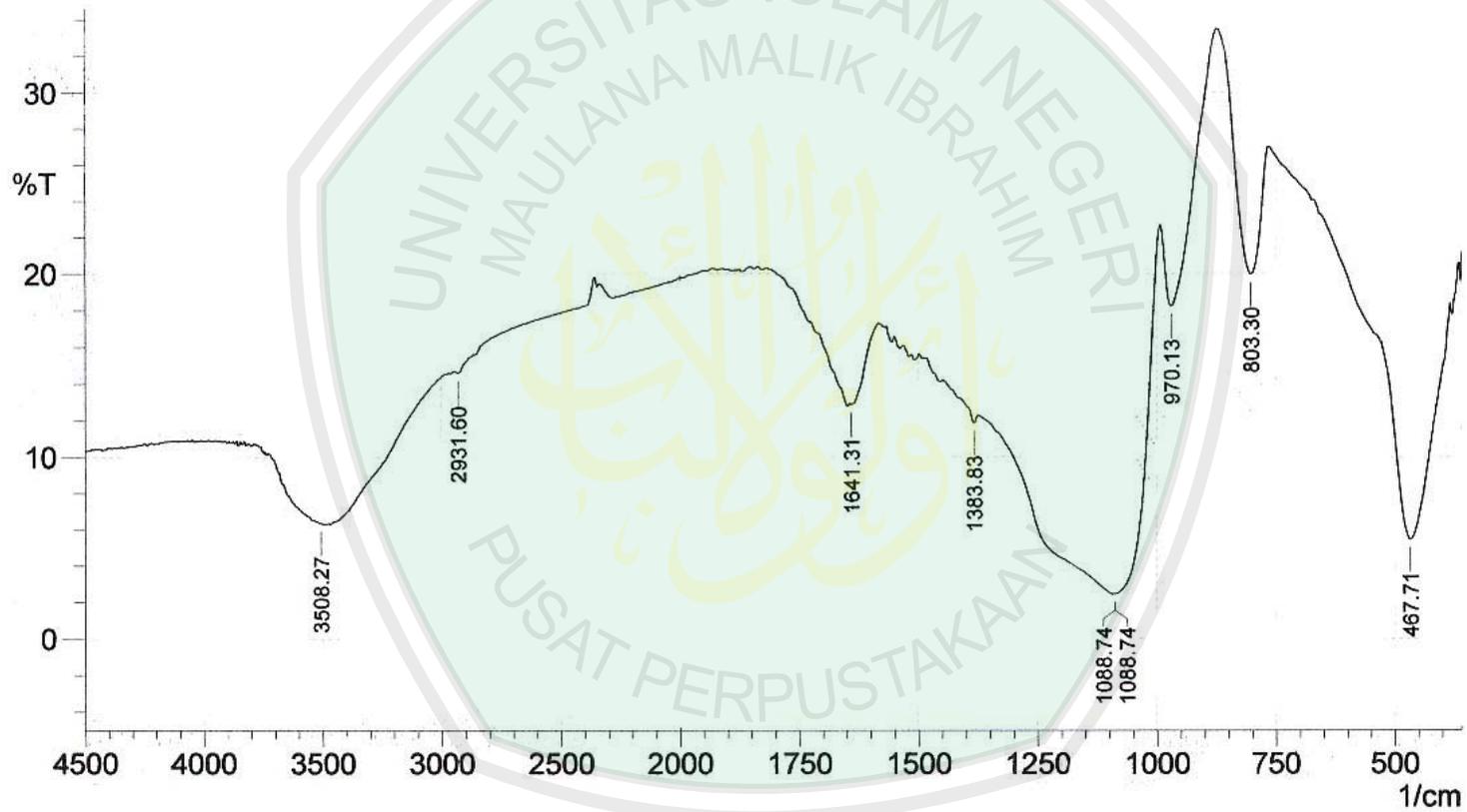
HgCl<sub>2</sub> ditimbang sebanyak 1,35 gram dalam gelas beaker, kemudian dilarutkan dalam labu takar 1000 ml, kemudian diencerkan dengan larutan HNO<sub>3</sub> 1 M sampai tanda batas.

Lampiran 3. Gambar Spektra Hasil FTIR Daun Enceng Gondok sebelum dan setelah Direaksikan dengan Merkuri (II)

L. 3.1 Gambar Spektra Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat



**L. 3.2 Spektra Daun Enceng Gondok yang Terimobilisasi pada Matriks Polisisilikat dan Direaksikan dengan Ion Merkuri (II)**



#### Lampiran 4. Penurunan Rumusan Model Kinetika Adsorpsi dengan Menggunakan $\theta_1$ dari Persamaan Isoterm Langmuir

Jika  $\theta_1$  dari persamaan isoterm Freundlich dimasukkan dalam persamaan laju adsorpsi Langmuir, maka akan berlaku hubungan:

$$r_{\text{ads}} = k_a(1-\theta_1) C_A \quad (1)$$

jika  $\theta_1$  dari freunlich =  $k_p^{1/n}$   
=  $k C_A^{1/n}$

maka persamaan (1) dapat ditulis lagi:

$$r_{\text{ads}} = k_a(1-k C_A^{1/n}) C_A \quad (2)$$

maka kinetika adsorpsinya akan menjadi:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_a \left( k C_A^{\frac{1}{n}} - 1 \right) C_A$$
$$\frac{dC_A}{dt} = k_a \left( k C_A^{\frac{1}{n}} - 1 \right) C_A \quad (3)$$

Ketika persamaan (3) diintegalkan :

$$\int \frac{dC_A}{\left( k C_A^{\frac{1}{n}} - 1 \right) C_A} = \int k_a dt \quad (4)$$

Apabila dimisalkan :  $y = C_A^{1/n}$ , maka  $C_A = y^n$  dan  $dC_A = n y^{n-1} dy$  maka jika pemisalan tersebut disubstitusikan ke persamaan (4) maka akan diperoleh:

$$\int \frac{ny^{n-1}dy}{(ky-1)y^n} = \int k_a dt$$

$$\int \frac{n dy}{(ky-1)y} = \int k_a dt$$

$$n \int \frac{dy}{(ky-1)y} = \int k_a dt \quad (5)$$

Apabila  $n \int \frac{dy}{(ky-1)y}$  dipisah maka akan dihasilkan:

$$\begin{aligned} \frac{1}{(ky-1)y} &= \frac{A}{ky-1} + \frac{B}{y} \\ &= \frac{Ay + B(ky-1)}{(ky-1)y} \text{ maka} \\ &= Ay + B(ky-1) = 1 \\ &= (A+Bk)y - B = 1 \rightarrow B = -1 \\ &= A - k = 0 \rightarrow A = k \end{aligned}$$

Jika nilai A dan B disubstitusi ke persamaan 5 akan menjadi:

$$n \int \left( \frac{A}{ky-1} + \frac{B}{y} \right) dy = \int k_a dt$$

$$n \int \left( \frac{k}{ky-1} - \frac{1}{y} \right) dy = \int k_a dt$$

$$n \int \frac{k}{k \left( y - \frac{1}{k} \right) - \frac{1}{y}} = \int k_a dt$$

$$n \left( \ln \left( y - \frac{1}{k} \right) - \ln y \right) = k_a t + C$$

$$n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right) = k_a t + C$$

Jadi persamaan laju adsorpsi terintegrasinya dapat ditulis ulang menjadi:

$$n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right) = k_a t + C \quad (6)$$

Dimana:  $1/n$  : konstanta adsorpsi Freunlich atau intensitas adsorpsi (L/mol)

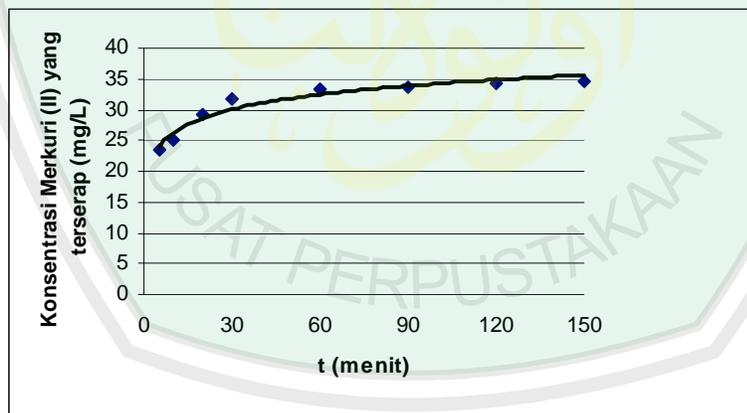
$k_a$  : kapasitas adsorpsi (mol/g)

$y$  : konsentrasi merkuri setelah waktu  $t$

$t$  : waktu

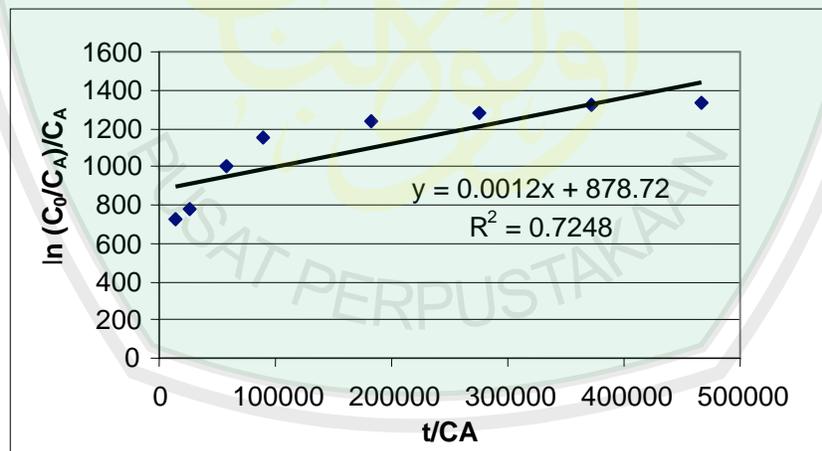
**Lampiran 5. Data Pengaruh Waktu Interaksi terhadap Adsorpsi  $Hg^{2+}$  pada Adsorben Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat.**

t (waktu) menit	Konsentrasasi Hg awal ( $C_0$ ) mg/L	Konsentrasi Hg sisa ( $C_A$ ) mg/L	Konsentrasi Hg yang terserap ( $C_0 - C_A$ ) mg/L
5	99,313	75,810	23,503
10	99,313	74,322	24,991
20	99,313	70,083	29,230
30	99,313	67,504	31,809
60	99,313	66,006	33,307
90	99,313	65,506	33,807
120	99,313	64,884	34,429
150	99,313	64,693	34,620



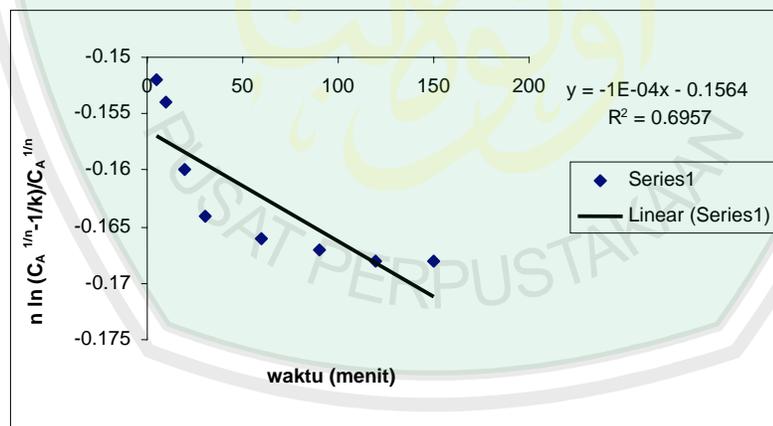
**Lampiran 6. Perhitungan Tetapan Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi (K) untuk Adsorpsi  $Hg^{2+}$  pada Biomassa Daun Enceng Gondok yang Diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat Menggunakan Model Kinetika Menurut Langmuir-Santosa**

waktu (menit)	Konsentrasi $Hg^{2+}$ awal ( $C_0$ ) (mol/L $\times 10^{-4}$ )	Konsentrasi $Hg^{2+}$ sisa ( $C_A$ ) (mol/L $\times 10^{-4}$ )	$C_0/C_A$	$\ln C_0/C_A$	$\frac{\ln C_0/C_A}{C_A}$ (L/mol)	$t/C_A$ (menit.L/mol)
5	4,95	3,77	1,312	0,272	721,485	13262,599
10	4,95	3,70	1,337	0,290	783,783	27027,027
20	4,95	3,49	1,418	0,349	1000	57306,590
30	4,95	3,36	1,473	0,387	1151,785	89285,714
60	4,95	3,29	1,504	0,408	1240,121	182370,820
90	4,95	3,26	1,518	0,417	1279,141	276073,619
120	4,95	3,23	1,532	0,426	1318,885	371517,027
150	4,95	3,22	1,537	0,429	1332,298	465838,509



**Lampiran 7. Perhitungan Tetapan Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi (K) untuk Adsorpsi  $Hg^{2+}$  pada Biomassa Daun Enceng Gondok yang Diimobilisasi pada Matriks Polisikat Menggunakan  $\theta_1$  dari Isoterm Freunlich**

t	n	1/n	k	1/k	$C_A$	$C_A^{1/n}$	$\ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right)$	$n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right)$
5	1,61	0,620	0,7568	1,321	75.810	14.636	0.909	-0,152
10	1,61	0,620	0,7568	1,321	74.322	14.457	0.908	-0.154
20	1,61	0,620	0,7568	1,321	70.083	13.940	0.905	-0.160
30	1,61	0,620	0,7568	1,321	67.504	13.620	0.903	-0.164
60	1,61	0,620	0,7568	1,321	66.006	13.432	0.902	-0.166
90	1,61	0,620	0,7568	1,321	65.506	13.368	0.901	-0.167
120	1,61	0,620	0,7568	1,321	64.884	13.290	0.900	-0.168
150	1,61	0,620	0,7568	1,321	64.693	13.265	0.900	-0.168



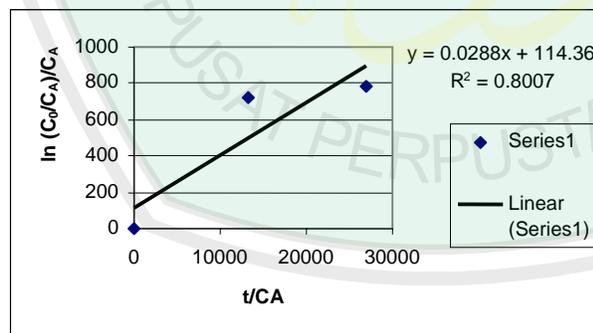
Persamaan laju adsorpsi terintegrasi dengan isoterm adsorpsi Freundlich

$$n \ln \left( \frac{y - \frac{1}{k}}{y} \right) = k_1 t + C$$

**Lampiran 8. Perhitungan Tetapan Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Laju Adsorpsi (K) untuk Adsorpsi Hg<sup>2+</sup> pada Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dengan Menggunakan Model Kinetika Sederhana dari Langmuir-Santosa**

waktu (menit)	Konsentrasi Hg <sup>2+</sup> awal (C <sub>0</sub> ) (mol/L×10 <sup>-4</sup> )	Konsentrasi Hg <sup>2+</sup> sisa (C <sub>A</sub> ) (mol/L×10 <sup>-4</sup> )	C <sub>0</sub> /C <sub>A</sub>	ln C <sub>0</sub> /C <sub>A</sub>	$\frac{\ln C_0/C_A}{C_A}$ (L/mol)	t/C <sub>A</sub> (menit, L/mol)
0	4,95	4,95	1	0	0	0
5	4,95	3,77	1,312	0,272	721,485	13262,599
10	4,95	3,70	1,337	0,290	783,783	27027,027
20	4,95	3,49	1,418	0,349	1000	57306,590
30	4,95	3,36	1,473	0,387	1151,785	89285,714
60	4,95	3,29	1,504	0,408	1240,121	182370,820
90	4,95	3,26	1,518	0,417	1279,141	276073,619
120	4,95	3,23	1,532	0,426	1318,885	371517,027
150	4,95	3,22	1,537	0,429	1332,298	465838,509

**Tahap I pada menit ke 0 sampai ke 10**



Slope = k = 288 x 10<sup>-4</sup>

Intersep = K = 114.36

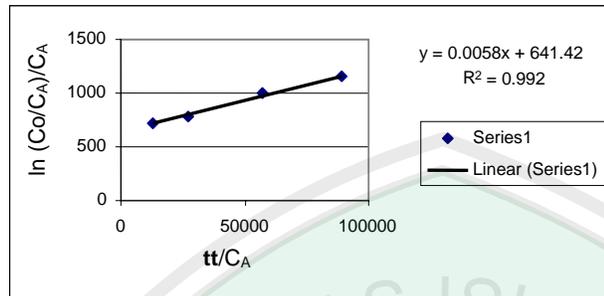
$\Delta E_{ads} = R T \ln K$

$\Delta E_{ads} = 8.314 \text{ J/K.mol} \times 300 \text{ K} \times \ln 114,36 \text{ mol/L}^{-1}$

$\Delta E_{ads} = 11820,89 \text{ J/mol}$

$\Delta E_{ads} = 11,820 \text{ kJ/mol}$

**Grafik Tahap II pada menit ke 5 sampai ke 30**



Slope = k = 0.0058  
 Intersep = K = 641.42

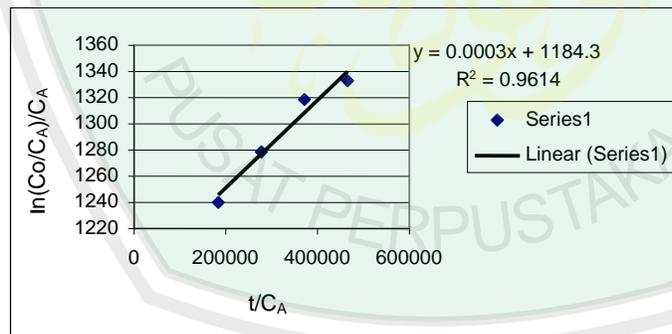
$$\Delta E_{\text{ads}} = R T \ln K$$

$$\Delta E_{\text{ads}} = 8.314 \text{ J/K.mol} \times 300 \text{ K} \times \ln 641.42 \text{ mol/L}^{-1}$$

$$\Delta E_{\text{ads}} = 16174,077\text{J/mol}$$

$$\Delta E_{\text{ads}} = 16,174\text{kJ/mol}$$

**Grafik Tahap III pada menit ke 60 sampai ke 150**



Slope = k = 0.0003  
 Intersep = K = 1184.3

$$\Delta E_{\text{ads}} = R T \ln K$$

$$\Delta E_{\text{ads}} = 8.314 \text{ J/K.mol} \times 300 \text{ K} \times \ln 1184.3 \text{ mol/L}^{-1}$$

$$\Delta E_{\text{ads}} = 17651,22\text{J/mol}$$

$$\Delta E_{\text{ads}} = 17,651 \text{ kJ/mol}$$

**Lampiran 9. Gambar Hasil Penelitian**

**L.9.1 Gambar Biomassa Daun Enceng Gondok**



**L.9.2 Gambar Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat**



**L.9.3 Gambar Biomassa Daun Enceng Gondok yang terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dalam Keadaan Kering**

