

**STUDI KINETIKA ADSORPSI MERKURI (II)
PADA BIOMASSA
DAUN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)**

SKRIPSI

Oleh:

**LILIK ROHMAWATI
NIM. 03530003**



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

**STUDI KINETIKA ADSORPSI MERKURI (II)
PADA BIOMASSA
DAUN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

Universitas Islam Negeri Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:

**LILIK ROHMAWATI
NIM. 03530003**

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

**STUDI KINETIKA ADSORPSI MERKURI (II)
PADA BIOMASSA
DAUN ENCENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*)**

SKRIPSI

Oleh:

**LILIK ROHMAWATI
NIM. 03530003**

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*)**

SKRIPSI

Oleh:

**LILIK ROHMAWATI
NIM. 03530003**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
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 : Eny Yulianti, M.Si NIP. 150 368 797	()
3. Sekretaris Penguji : Himmatul Barroroh, M.Si NIP. 150 327 246	()
4. Anggota Penguji : Ahmad Barizi, M.A 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

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ
لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١٣﴾

*“Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit
dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya.
Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda
(kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir”
(Surat Al-Jaatsiyah ayat 13)*

*Kebesaran seseorang tidak terlihat ketika ia berdiri dan memberi perintah,
tetapi ketika ia berdiri sama tinggi dengan orang lain dan membantu orang lain
untuk mengeluarkan yang terbaik dari diri mereka guna mencapai sukses.*

G. Arthur Keough, Pendidik

PUSAT PERPUSTAKAAN

PERSEMBAHAN

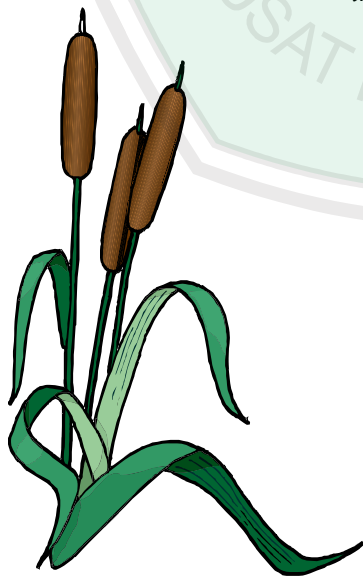
Suka maupun duka selalu mengiringi langkah hidup seseorang dalam mencapai impian yang selama ini dinanti-nanti, bila seseorang mengingat masa lalu seakan tak ada yang kembali, Impian masa depan yang cerah adalah harapan semua orang. Impian tanpa usaha n kerja keras sama aja sia-sia, untuk itu seseorang harus berusaha n semangat n tegar dalam mengarungi samudera kehidupan n terus mencari apa yang sudah menjadi impiannya.

Teiring do'a dan rasa syukur, kan kupersembahkan sebuah karya ini kepada kedua orang tuaku (Bapakku Mukminin S.Ag dan Ibunda tercinta Safinatun) yang dengan jerih payahnya mengasuh dan mendidikku sampai sekarang ini, dan berkat aliran doa restunya aku dapat menyelesaikan skripsi ini

Kedua kakakku (Mas Bambang n Mas Endro) dan adekku (Saiful) yang memberikan sebuah arti kedewasaan. Keluarga besar Mbah Putri Ngawi yang selalu mengingatkan akan suatu kewajiban yang harus kulakukan.

Buat seluruh sobat-sobatku in Malang (yang tidak bisa disebutkan satu persatu), sobat sekosan (Fatim, Asti n Dina), keluarga besar Ibu kos dan sobat seperjuangan '03 (Dewi, Fara, Ili, Mami, Liva, Atul, Nurul, Dewi A, Rizki, Ika, Akyun, Susi, Dyah, Uus, Lilik, Vida, Cicik, Umi, Nain, Taufik, Wasil, Tamam, Team penelitian enceng gondok serta semua Ankim semester bawah kalianlah yang memberikan sejuta inspirasi dalam setiap ruang dan waktu serta membuatku selalu tersenyum disaat badai itu datang.

Buat seseorang (misteri) yang nantinya menjadi imam menuju indahny surga dunia dan akhirat



KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah Swt karena atas rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang Kimia di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Untuk itu, iringan do'a dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan, terutama kepada

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 pembimbing utama yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan selama penulisan skripsi.
5. Elok Kamilah Hayati, M.Si, selaku konsultan yang telah dengan telaten memberikan petunjuk dan bimbingan selama mengerjakan skripsi ini.
6. Munirul Abidin, M.Ag, selaku pembimbing agama yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama mengerjakan skripsi ini.

7. Rini Nafsiati Astuti, M.Pd, Eny Yulianti, M.Si dan Ahmad Barizi, MA, selaku dewan penguji yang telah memberikan masukan, saran dan kritikan yang bersifat konstruktif.
8. Segenap dosen pengajar atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
9. Koordinator Laboratorium Kimia UIN Malang serta Kimia Fisik dan Anorganik Universitas Brawijaya Malang beserta staf, terima kasih atas kesediaannya memberikan tempat dan meminjamkan peralatan selama penelitian.
10. Usman Pagalay, M.Si, terima kasih atas ilmu matematika yang telah diberikan kepada penulis.
11. Ayah dan Ibunda tercinta yang dengan sepenuh hati memberikan dukungan moril maupun spirituil serta ketulusan do'anya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
12. Teman-teman kimia angkatan 2003, yang telah memberikan dukungan dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
13. Team penelitian enceng gondok (Rosi, Tika, Susi dan Abi) terima kasih atas, motivasi dan kerja samanya.
14. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Penyusunan skripsi ini tentunya masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat dapat menjadi sumber informasi yang bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Malang, Juli 2008

Penulis

Lilik Rohmawati



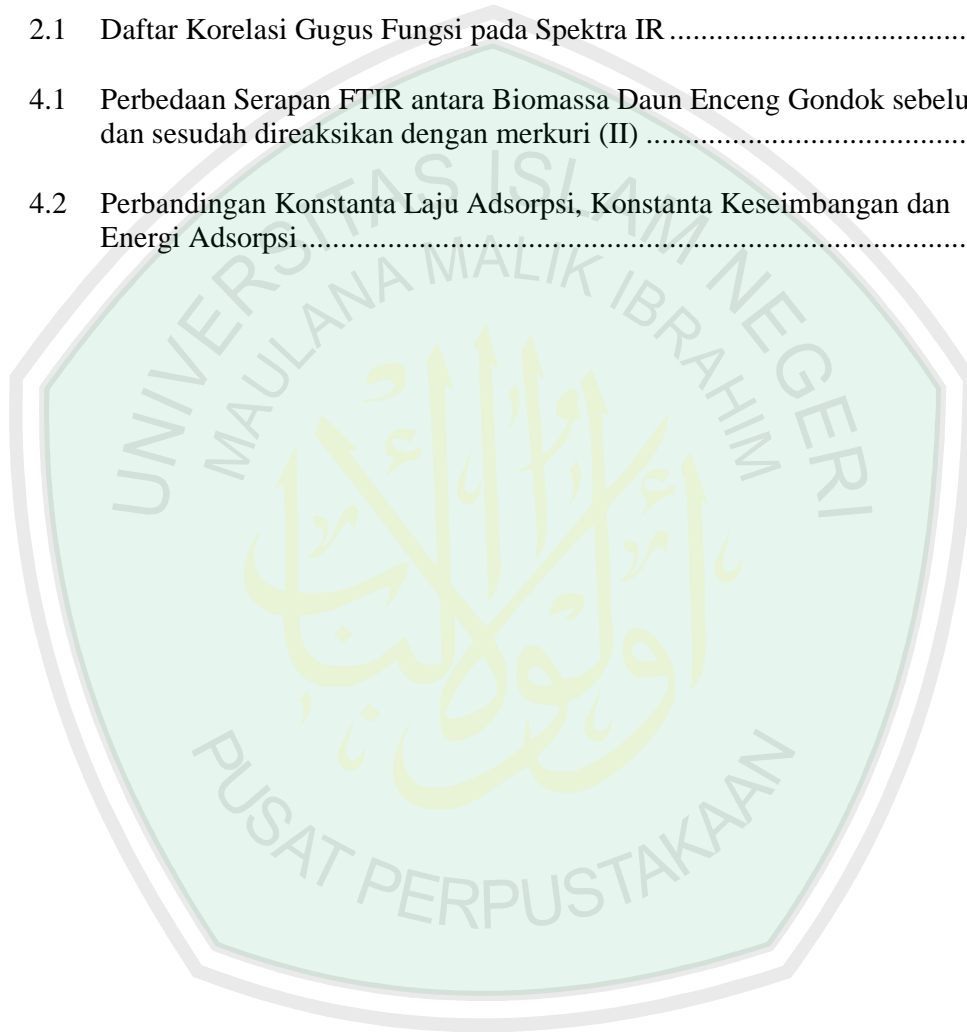
DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
ABSTRAK	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Merkuri	7
2.2 Biomassa	10
2.2.1 Enceng Gondok	10
2.3 Adsorpsi	13
2.3.1 Kinetika Adsorpsi	15
2.3.1.1 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir	16
2.3.1.2 Model Kinetika Adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS)	23
2.4 Spektrofotometri Inframerah	26
2.5 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)	29
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Bahan	31
3.2.1 Bahan Penelitian	31
3.2.2 Bahan Kimia	31
3.3 Alat	31
3.4 Tahapan Penelitian	32
3.4.1 Persiapan Biomassa Daun Enceng Gondok	32
3.4.2 Karakterisasi Biomassa Daun Enceng Gondok	32

3.4.3	Penentuan Model Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok melalui Pendekatan Variasi Waktu Kontak	33
3.4.4	Analisa Data.....	33
3.4.4.1	Penentuan Konsentrasi Merkuri (II) dengan Kurva Standar	33
3.4.4.2	Analisis Spektroskopi Inframerah.....	34
3.4.4.3	Penentuan Model Kinetika Adsorpsi.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Karakter Vibrasi IR pada Ikatan antara Biomassa Daun Enceng Gondok Sebelum dan Sesudah direaksikan dengan Merkuri (II)	40
4.2	Model Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		65

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
2.1	Daftar Korelasi Gugus Fungsi pada Spektra IR.....	28
4.1	Perbedaan Serapan FTIR antara Biomassa Daun Enceng Gondok sebelum dan sesudah direaksikan dengan merkuri (II)	42
4.2	Perbandingan Konstanta Laju Adsorpsi, Konstanta Keseimbangan dan Energi Adsorpsi.....	54



DAFTAR GAMBAR

No	Gambar	Halaman
2.1	Tanaman Enceng Gondok	13
4.1	Spektra FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok	41
4.2	Spektra FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok Setelah mengadsorpsi Merkuri (II)	41
4.3	Interaksi Dugaan antara Situs Aktif Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II) (M-CO) yang membentuk Suatu Ligan Jembatan .	44
4.4	Interaksi Dugaan antara Situs Aktif Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II) (-COOM dan -OM) melalui Struktur Cincin Khelat	45
4.5	Interaksi Dugaan antara Situs Aktif Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II) (M-NH ₂ dan -COOM) sebagai Ligan Bidentat	46
4.6	Pengaruh Waktu Interaksi terhadap Konsentrasi Merkuri (II) yang teradsorpsi	48
4.7	Model Kinetika Adsorpsi Langmuir	51
4.8	Model Kinetika Adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS)	51
4.9	Model Kinetika Adsorpsi Langmuir Tahap I (0-10 menit)	52
4.10	Model Kinetika Adsorpsi Langmuir Tahap II (5-60 menit)	53
4.11	Model Kinetika Adsorpsi Langmuir Tahap I (60-150 menit)	53
4.12	Interaksi Dugaan Ikatan Hidrogen antara Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II)	55
4.13	Interaksi Dugaan Pertukaran Kation antara Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II)	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Preparasi Larutan	65
Lampiran 2. Skema Kerja	67
Lampiran 3. Spektra FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok Sebelum dan Sesudah diinteraksikan Merkuri (II).....	69
Lampiran 4. Data Larutan Standar Merkuri (II).....	71
Lampiran 5. Data Pengaruh Waktu Interaksi terhadap Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok.....	72
Lampiran 6. Perhitungan Konstanta Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan (K) untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok menggunakan Model Kinetika Langmuir .	73
Lampiran 7. Perhitungan Konstanta Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan (K) untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok menggunakan Model Kinetika LHS	74
Lampiran 8. Perhitungan Konstanta Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan (K) untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok menggunakan Model Kinetika Sederhana dengan analisa mengikuti model kinetika Langmuir.....	75
Lampiran 9. Fitting Kurva Hubungan antara Mekuri (II) teradsorpsi dengan Waktu.....	76
Lampiran 10. Gambar Daun dan Biomassa Daun Enceng Gondok	77

ABSTRAK

Rohmawati, Lilik. 2008. **Studi Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**. 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: Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Merkuri, Kinetika Adsorpsi

Merkuri, selain memberikan dampak positif, juga memberikan dampak negatif pada manusia. Merkuri merupakan suatu logam, selain merkuri logam lainnya adalah besi. Kedua unsur logam ini, dapat berdampak positif sekaligus negatif. Sebagaimana firman Allah, “*Dan Kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu)*” (Qs. al-Hadîd/57: 25). Salah satu cara untuk mengurangi dampak negatif yang disebabkan merkuri (II), dapat dilakukan dengan metode adsorpsi menggunakan biomassa daun enceng gondok. Penelitian ini akan mempelajari karakteristik ikatan antara merkuri (II) dengan biomassa daun enceng gondok serta model kinetika adsorpsi.

Penelitian ini meliputi penentuan perubahan karakter ikatan pada biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan merkuri (II) dengan menggunakan FTIR. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan model kinetika adsorpsi dengan cara menginteraksikan 25 ml larutan merkuri (II) dengan konsentrasi 100 mg/L pada pH 6 selama 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 dan 150 menit analisis merkuri (II) dilakukan dengan menggunakan AAS.

Hasil analisis karakter ikatan yang diperoleh dari spektra FTIR biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II) dapat diperkirakan bahwa tipe ikatan antara situs aktif dengan merkuri (II) beraneka ragam antara lain M-N, M-CO, COOM, OM, dengan M adalah merkuri (II). Situs aktif yang terdapat pada biomassa secara kualitatif adalah heterogen. Model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok secara kuantitatif dapat dijelaskan melalui model kinetika Langmuir pada tiap tahap laju linier. Pada tahap I nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $4,1 \cdot 10^{-2}$ menit⁻¹, konstanta keseimbangan (K) = $287,35$ (mol/L)⁻¹, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) = 14,119 kJ/mol, tahap II nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $8 \cdot 10^{-4}$ menit⁻¹, konstanta keseimbangan (K) = $2381,4$ (mol/L)⁻¹, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) = 19,394 kJ/mol dan tahap III nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $4 \cdot 10^{-5}$ menit⁻¹, konstanta keseimbangan (K) = 2602,1 (mol/L)⁻¹, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) sebesar 19,615 kJ/mol. Berdasarkan nilai energi adsorpsi dapat diketahui bahwa ikatan yang terjadi antara merkuri (II) dengan biomassa daun enceng gondok kebanyakan berikatan secara fisisorpsi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan dalam bidang industri telah mengalami kemajuan yang sangat pesat sejak terjadinya revolusi industri di daratan Eropa pada abad pertengahan. Sejak itu seluruh negara maju di dunia berpacu untuk mendirikan pabrik-pabrik. Pembangunan dalam bidang industri pada mulanya bertujuan memberikan kemudahan bagi manusia melalui produknya seperti alat-alat listrik (lampu-lampu merkuri), baterai, klorin (Cl_2) dan lain-lain (Alfian, 2006). Peningkatan dalam bidang industri ini juga dibarengi dengan penggunaan logam berat yang semakin meningkat. Logam berat banyak digunakan dalam industri karena memiliki sifat antara lain dapat menghantarkan listrik dan panas serta dapat bercampur dengan logam lain menjadi logam campuran, selain itu logam berat juga berfungsi membantu proses fisiologis makhluk hidup. Logam berat kenyataannya tidak hanya memberikan manfaat, akan tetapi juga telah banyak menimbulkan pencemaran yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup (Raya, 2002), salah satunya adalah logam merkuri.

Merkuri merupakan logam berat yang secara alami terdapat di alam, meskipun kadarnya sangat rendah. Merkuri dalam jumlah yang tinggi mempunyai potensi sebagai polutan yang bersifat toksik. Batas maksimum kandungan merkuri yang diperbolehkan dalam tubuh ikan yang dikonsumsi oleh manusia menurut FAO/WHO adalah 0,05 ppm dan standar normal yang ditetapkan oleh pemerintah

dalam PP 82/2001 pada limbah yang mengandung merkuri adalah 0,001 mg/L (Arisandi, 2004).

Merkuri selain memberikan manfaat yang besar bagi manusia dan lingkungan, pada waktu yang bersamaan juga dapat menjadi malapetaka yang dapat mematikan manusia dan ekosistem lainnya, jika tidak dikontrol cara penggunaannya. Malapetaka atau bencana alam ini, disebabkan karena perbuatan manusia yang berlebihan, padahal al-Qur'an telah mengingatkan bahwa kerusakan yang terjadi di muka bumi diakibatkan oleh tangan (perbuatan) manusia yang tidak bertanggung jawab terhadap alam. Hal ini terlihat jelas dalam al-Qur'an Surat Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ
الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

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

Kerusakan yang terjadi di muka bumi sebagai akibat dari perbuatan manusia dalam menggunakan merkuri, pada umumnya berasal dari limbah industri pertambangan emas. Pencemaran merkuri akibat praktik pertambangan emas yang tidak terkontrol telah terjadi di berbagai wilayah Indonesia. Keadaan merkuri di lingkungan akan membahayakan kesehatan manusia, seperti logam berat lainnya. Dampak terhadap kesehatan yang diakibatkan oleh merkuri,

misalnya penyempitan pada medan penglihatan, gangguan akomodasi dan keseimbangan otot mata, kemungkinan terjadi ketulian, gangguan pada fungsi alat keseimbangan, kulit pucat, gangguan bicara terutama ditemukan pada keracunan merkuri organik, gangguan koordinasi otot-otot lengan dan tungkai bawah, kepekaan indera perasa dan pembau (Sudarmaji, 2001).

Pengembangan metode untuk menghilangkan keberadaan logam-logam berat di lingkungan lebih banyak difokuskan pada pengembangan metode yang bersifat ramah lingkungan. Metode adsorpsi merupakan metode pengolahan air limbah yang cukup unggul dibandingkan dengan metode lain. Keuntungan utama sistem adsorpsi adalah biayanya murah, tidak ada efek samping zat beracun, serta mampu menghilangkan bahan-bahan anorganik (Gupta,1988). 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).

Salah satu bahan organik yang digunakan sebagai adsorben adalah biomassa dari tumbuhan enceng gondok yang telah mati. Kemampuan biomassa tumbuhan ini telah terbukti dalam mengadsorpsi logam berat seperti merkuri. Al-Ayubi (2008) menjelaskan bahwa penyerapan merkuri (II) dengan menggunakan biomassa daun enceng gondok sebesar 0,1 gram dan telah diaktivasi dengan HCl 0,01 M, memiliki kapasitas adsorpsi sebesar $4,806 \times 10^{-5}$ mol/gr dengan konstanta adsorpsi sebesar $27130,85 \text{ (mol/L)}^{-1}$ dan energi adsorpsi sebesar 25,460 kJ/mol pada pH optimum 6 dan waktu pengocokan selama 60 menit. Hasil penelitian lain tentang adsorpsi merkuri (II) dengan

biomassa daun enceng gondok yang terimobilisasi pada matriks polisilikat juga telah dilakukan oleh Khalifah (2008). Khalifah (2008) menjelaskan bahwa dalam waktu pengocokan 60 menit pada pH 6, 0,1 gram biomassa daun enceng gondok yang terimobilisasi pada matriks polisilikat mampu menyerap merkuri (II) dengan kapasitas adsorpsi sebesar $4,649 \times 10^{-5}$ mol/g, konstanta adsorpsi sebesar $11334,79 \text{ (mol/L)}^{-1}$ dan energi adsorpsi sebesar 23,28 kJ/mol.

Kecepatan proses adsorpsi biomassa daun enceng gondok terhadap merkuri (II), dapat dipelajari dalam suatu kajian tentang kinetika adsorpsi. Pengetahuan tentang kinetika dapat digunakan sebagai sumber informasi untuk menentukan langkah-langkah pengurangan toksisitas dan proteksi lingkungan, sehingga dampak negatif penggunaan merkuri dapat direduksi.

Identifikasi gugus fungsional yang terdapat pada biomassa sangat penting dipelajari untuk memperkirakan interaksinya dengan logam. Informasi tentang ikatan logam dengan biomassa alga (*Chaetoceros calcitrans*) selama ini diduga terjadi karena adanya gugus -OH, -C=O, -NH, -COOH (Raya, 2002).

Pada penelitian ini dipelajari kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok dengan metode variasi waktu interaksi serta karakteristik ikatan antara biomassa dengan merkuri (II). Pada penelitian ini diharapkan akan diperoleh suatu kejelasan mengenai bagaimana adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok berlangsung.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan di atas maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan karakter vibrasi IR pada ikatan antara biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II)?
2. Bagaimanakah model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik ikatan antara biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II).
2. Untuk mengetahui model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok.

1.4 Batasan Masalah

Biomassa yang digunakan adalah daun enceng gondok yang berasal dari desa Nanggung kecamatan Prambon kabupaten Nganjuk.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan :

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.




BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Merkuri

Logam merupakan unsur kimia yang mempunyai sifat fisis maupun sifat kimia tertentu. Salah satu contoh unsur kimia yang tergolong unsur logam adalah besi dan merkuri. Kedua unsur logam ini memiliki karakteristik yang berbeda, akan tetapi kedua unsur logam ini sama-sama bermanfaat bagi manusia, sesuai firman Allah dalam surat Al Hadiid ayat 25 yang berbunyi :

 وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنْفَعٌ لِلنَّاسِ

Artinya : ” Dan Kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu)

Baksun syadiidun wamanaafi'ulinnas dalam kajian ini mempunyai pengertian bahwa di dalam besi terdapat sifat yang bermanfaat bagi manusia, apabila manusia mempergunakan besi tersebut dengan baik. Sama halnya dengan merkuri, selain memberikan manfaat, logam ini juga mempunyai karakteristik yang spesifik dibandingkan dengan logam lainnya.

Merkuri adalah unsur logam yang mempunyai nomor atom (NA=80) serta mempunyai massa molekul relatif (Mr = 200,59) dengan konfigurasi elektron [Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² (Ebadian, 2001). Merkuri diberi simbol Hg yang merupakan singkatan yang berasal dari bahasa Yunani *Hydrargyricum*, yang berarti cairan

perak. 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 (HgSb_4S_7), montroyidit (HgO), tertringualit (Hg_2OCl), kalomel (HgCl) (Kirk and Otmer, 1981).

Sifat-sifat logam merkuri secara umum adalah sebagai berikut (Palar, 1994):

- a. Berwujud cair pada suhu ruang 25°C dengan titik beku paling rendah sekitar -39°C
- b. Masih berwujud cair pada suhu 396°C . Pada temperatur ini telah terjadi pemuaihan 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. Unsur yang sangat beracun bagi semua makhluk hidup, baik itu dalam bentuk unsur tunggal (logam) ataupun dalam bentuk persenyawaan

Merkuri (Hg) sebagai unsur berbentuk cair keperakan pada suhu kamar. Merkuri oleh Clarkson dalam Alfian (2006) dapat digolongkan sebagai merkuri anorganik dan merkuri organik. Merkuri anorganik misalnya garam merkurous (Hg_2Cl_2) dan garam merkurik (HgCl_2). Merkuri anorganik pada tahap pengoksidaan, Hg^{2+} adalah lebih reaktif karena dapat membentuk kompleks dengan ligan organik, terutama golongan sulfurhidril. HgCl_2 sangat larut dalam air

dan sangat toksik, sebaliknya HgCl tidak larut dan kurang toksik. Contoh dari merkuri organik antara lain senyawa alkil merkuri (CH₃HgCl), senyawa aril merkuri (C₆H₅HgCl) dan senyawa alkoksiaril merkuri (CH₃OCH₂HgCl). Senyawa merkuri organik dianggap lebih berbahaya dan dapat larut dalam lapisan lemak pada kulit yang menyelimuti korda saraf (Alfian, 2006).

Sifat senyawa HgCl₂ yang lain adalah sangat larut dalam alkohol, eter dan larut dalam asam asetat (Kaye, 1973). Merkuri (II) klorida dapat terbentuk oleh campuran dua unsur dasar, Hg dan Cl₂ menurut persamaan reaksi (Sugiyarto, 2003):



Merkuri dan turunannya mempunyai sifat yang sangat beracun, sehingga kehadirannya di lingkungan perairan dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Pencemaran merkuri di perairan 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)

Merkuri mempunyai sifat 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. Nilai Ambang Batas yaitu suatu keadaan dimana suatu larutan kimia, dalam hal ini merkuri dianggap belum membahayakan bagi kesehatan manusia. Kadar

merkuri jika sudah melampaui NAB dalam air atau makanan, 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). Pedoman baku mutu lingkungan menjelaskan bahwa, kadar merkuri pada makanan yang dikonsumsi langsung maksimum sebesar 0,001 ppm. Kadar merkuri yang aman dalam darah maksimal 0,04 ppm. Kadar merkuri sebesar 0,1-1 ppm dalam jaringan sudah dapat menyebabkan munculnya gangguan fungsi tubuh (Anonymous, 2007)

2.2 Biomassa

Biomassa merupakan bahan yang berasal dari zat-zat organik yang dapat diperbaharui yang berasal dari makhluk hidup baik hewan maupun tumbuhan. Beberapa biomassa tersebut antara lain adalah biomassa ganggang laut, tumbuhan alfalfa dan *portulaca oleracea* (Shofia, 2006).

2.2.1 Enceng Gondok

Allah menciptakan alam semesta untuk manusia, salah satunya adalah tumbuhan (enceng gondok.). Enceng gondok sebagai tanaman liar yang mengganggu, perlu dimanfaatkan pertumbuhannya dengan merubahnya menjadi biomassa yang digunakan untuk memelihara keseimbangan dan kelestarian lingkungan, sebagaimana disebutkan dalam al-Qur'an surat An'aam ayat 99 yang berbunyi :

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا
 مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ
 وَجَنَّتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ لَّنُظَرُوا
 إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ 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; dan dari mayang korma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (Kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.”

Ayat suci ini mengingatkan kita tentang adanya tanda-tanda kekuasaan Tuhan dalam dunia tumbuh-tumbuhan yang memang penuh dengan tanda-tanda yang menunjukkan keagungan dan keperkasaan-Nya. Kekuasaan Allah dalam tumbuh-tumbuhan terlihat pada modifikasi tumbuh-tumbuhan itu sesuai dengan berbagai kondisi lingkungan. Salah satu modifikasi tumbuhan adalah tumbuh-tumbuhan air seperti enceng gondok yang hidup dirawa-rawa, danau, saluran air dan lahan-lahan yang penuh dengan air. Tumbuhan ini memiliki susunan dalam dan bentuk luar yang berbeda dengan tumbuh-tumbuhan lain. Tumbuhan ini dapat menyesuaikan diri dalam kondisi air yang melimpah (Pasya, 2004).

Enceng gondok di Indonesia pada mulanya diperkenalkan oleh Kebun Raya Bogor pada tahun 1894 yang akhirnya berkembang di Sungai Ciliwung sebagai tanaman pengganggu (Brij dan Sarman, 1981).

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 dan warna daun hijau licin mengkilat (Moenandir, 1990). Kandungan bahan kimia aktif pada daun *Eichhornia crassipes* adalah saponin, flavonoida dan polifenol. Tangkai daun *Eichhornia crassipes* juga berkhasiat sebagai obat bengkak-bengkak (Anonymous, 2008).

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 (Moenandir, 1990).



Gambar 2.1 Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Menurut Winarno dalam Supriyanto dan Muladi (1999) menyebutkan bahwa hasil analisa kimia dari enceng gondok dalam keadaan segar diperoleh bahan organik 36,59%, C organik 21,23%, N total 0,28%, P total 0,0011% dan K total 0,016%.

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses dimana suatu komponen bergerak dari suatu fasa menuju permukaan yang lain sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan. Zat yang diserap disebut adsorbat sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Pada umumnya adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi kimia (kemisorpsi) dan adsorpsi fisika (fisisorpsi). Adsorpsi fisika disebabkan oleh interaksi antara adsorben dan adsorbat karena adanya gaya tarik Van der Waals, adsorpsi ini biasanya bersifat reversibel karena terjadi melalui

interaksi yang lemah antara adsorben dan adsorbat, tidak melalui ikatan kovalen. Panas adsorpsi fisika tidak lebih dari 15-20 kkal/mol atau 63-84 kJ/mol. Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang melibatkan interaksi yang lebih kuat antara adsorben dan adsorbat sehingga adsorbat tidak bebas bergerak dari satu bagian ke bagian yang lain. Proses ini bersifat irreversibel sehingga adsorben harus dipanaskan pada temperatur tinggi untuk memisahkan adsorbat. Panas adsorpsi kimia biasanya lebih besar dari 20-30 kkal/mol atau 84-126 kJ/mol (Parker, 1993).

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi (Weber, 1972) dan (Sawyer dan McCarty, 1987) antara lain:

(a) Waktu kontak dan pengocokan

Waktu kontak yang cukup diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi. Jika fase cair yang berisi adsorben dalam keadaan diam, maka difusi adsorbat melalui permukaan adsorben akan lambat. Maka diperlukan pengocokan untuk mempercepat adsorpsi.

(b) Luas permukaan adsorben

Luas permukaan adsorben sangat berpengaruh terutama untuk tersedianya tempat adsorpsi. Luas permukaan adsorben semakin besar maka semakin besar pula adsorpsi yang dilakukan.

(c) Kemurnian adsorben

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

(d) Ukuran molekul adsorbat

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

(e) 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.

(f) pH larutan

Pengaruh pH pada proses adsorpsi merupakan fenomena kompleks, antara lain menyebabkan perubahan sifat permukaan adsorben, sifat molekul adsorbat dan perubahan komposisi larutan.

(g) Konsentrasi adsorbat

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

2.3.1 Kinetika Adsorpsi

Kinetika kimia mencakup suatu pembahasan tentang kecepatan (laju) reaksi dan bagaimana proses reaksi berlangsung. Definisi tentang laju reaksi adalah suatu perubahan konsentrasi pereaksi maupun produk dalam satuan waktu (Keenan,1984). Orde reaksi merupakan bagian dari persamaan laju reaksi. Orde reaksi terhadap suatu komponen menurut Atkins (1999) merupakan pangkat dari konsentrasi komponen itu, dalam persamaan laju reaksi.

2.3.1.1 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir

Model kinetika adsorpsi Langmuir ini berdasarkan pada asumsi sebagai berikut : laju adsorpsi akan bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut dan porositas adsorben, situs pada permukaan yang homogen dan adsorpsi terjadi secara monolayer. Proses adsorpsi heterogen memiliki dua tahap, yaitu : (a) perpindahan adsorbat dari fasa larutan ke permukaan adsorben dan (b) adsorpsi pada permukaan adsorben. Tahap pertama akan bergantung pada sifat pelarut dan adsorbat yang terkontrol (Oscik,1982).

Bagian yang terpenting dalam proses adsorpsi yaitu situs yang dimiliki oleh adsorben yang terletak pada permukaan, akan tetapi jumlah situs-situs ini akan berkurang jika permukaan yang tertutup semakin bertambah.

Reaksi yang terjadi dalam proses adsorpsi dapat diasumsikan sebagai reaksi bimolekuler antara molekul atau atom adsorbat dan suatu atom dari permukaan adsorben. Pada reaksi ini akan terbentuk suatu senyawa kompleks teraktifasi antara molekul yang terdapat pada permukaan adsorben dengan molekul atau atom dari adsorbat.

Dalam kajian adsorpsi pada gas, yang mana :

$$\text{Konsentrasi gas: } C_g = \frac{N_g}{V}$$

$$\text{Konsentrasi situs adsorpsi: } C_s = \frac{N_s}{S}$$

$$\text{Konsentrasi senyawa kompleks teraktifasi } C_+ = \frac{N_+}{S}$$

Keterangan:

C_g : Konsentrasi gas

C_s : Konsentrasi situs adsorpsi

C_+ : Konsentrasi senyawa kompleks teraktifasi

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 kosong

Menurut teori laju reaksi absolut, keseimbangan akan terjadi pada molekul-molekul dalam gas, pusat adsorben, dan senyawa kompleks teraktifasi.

$$K = \frac{C_+}{C_g C_s} = \frac{N_+}{(N_g/V)N_s} \quad (1)$$

$$= \frac{f_+}{(f_g/V)f_s} \quad (2)$$

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

$$F_g = \frac{f_g}{V}$$

$$V = \frac{f_g}{F_g} \quad (3)$$

Persamaan 3 disubstitusikan ke dalam persamaan 2 menghasilkan :

$$K = \frac{f_+}{(f_g x \frac{f_g}{f_s}) f_s} = \frac{f_+}{F_g f_s} \quad (4)$$

Substitusi persamaan 1 pada persamaan 4 akan menjadi :

$$\frac{C_+}{C_g C_s} = \frac{f_+}{F_g f_s} \quad (5)$$

Sehingga dihasilkan:

$$C_+ = C_g C_s \frac{f_+}{F_g f_s} \quad (6)$$

Menurut teori laju reaksi absolut, laju adsorpsi gas dalam situs untuk setiap per cm^2 adalah :

$$v_{a(s)} = C_g C_{s(s)} \frac{kT}{h} \cdot \frac{f_+}{F_g f_s} \quad (7)$$

Jika permukaan itu seragam dan semua pusat adsorben dapat dihitung aktivitasnya, maka laju adsorpsi yang dihasilkan dari sejumlah permukaan adalah (Glasstone, 1941) :

$$v_a = C_g C_s \frac{kT}{h} \cdot \frac{f_+}{F_g f_s} \quad (8)$$

Jika kontribusi titik nol dikeluarkan dari fungsi partisi maka :

$$v_a = C_g C_s \frac{kT}{h} \cdot \frac{f_+}{F_g f_s} e^{-\epsilon_0/kT} \quad (9)$$

Keterangan:

v_a : Laju adsorpsi (r_{ads})

C_g : Konsentrasi awal dari gas

C_s : Konsentrasi situs adsorpsi

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

Sehingga bentuk sederhananya sebagai berikut :

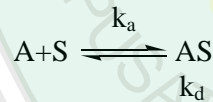
$$v_a = C_g C_s k_a = k_a C_g C_s \quad (10)$$

Dalam adsorpsi ion dalam larutan untuk konsentrasi gas C_g dapat disetarakan dengan konsentrasi ion dalam larutan C_A , sedangkan C_s dapat disetarakan dengan θ_0 , jumlah situs yang tidak ditempati oleh adsorbat.

Jadi persamaan (10) sama dengan persamaan (11) sebagai berikut :

$$r_{ads} = k_a \theta_0 C_A \quad (11)$$

Untuk suatu reaksi :



dengan A = adsorbat, S = adsorben, k_a = konstanta laju adsorpsi, k_d = konstanta laju desorpsi. Jika θ_1 = jumlah situs yang ditempati adsorbat, θ_0 = jumlah situs yang tidak ditempati adsorbat, $\theta_0 + \theta_1 = 1$ (Listianti, 2004).

Maka menurut Langmuir berlaku hubungan :

$$r_{ads} = k_a \theta_0 C_A \quad (12)$$

$$r_{ads} = k_a (1-\theta_1) C_A \quad (13)$$

$$r_{des} = k_d \theta_1 \quad (14)$$

Pada keadaan keseimbangan :

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

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

Sehingga dihasilkan :

$$\theta_1 = \frac{k_a}{k_d} (1-\theta_1) C_A \quad (16)$$

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

persamaan 16 dapat ditulis :

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

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

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

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

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

$$\theta_1 = \frac{KC_A}{1 + KC_A} \quad (17)$$

Substitusi dari persamaan (17) ke dalam persamaan (13) menghasilkan :

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

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

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

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

$$r_{ads} = \frac{k_a C_A}{1 + KC_A} \quad (18)$$

Laju adsorpsi didefinisikan sebagai kecepatan penurunan spesies A (C_A) dalam larutan maka:

$$r_{ads} = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{k_a C_A}{1 + KC_A} \quad (19)$$

Pada saat adsorbat teradsorpsi secara kuat maka $KC_A \gg 1$ sehingga faktor $1 + KC_A \sim KC_A$, persamaan (19) dapat ditulis ulang:

$$r_{ads} = \frac{k_a C_A}{KC_A} = \frac{k_a}{K} \quad (\text{orde nol}) \quad (20)$$

karena r_{ads} hanya bergantung pada k_a/K , maka reaksi berorde nol.

Pada saat adsorbat teradsorpsi lemah, maka $KC_A \ll 1$, sehingga faktor $1 + KC_A \sim 1$, persamaan (19) dapat ditulis ulang :

$$r_{ads} = k_a C_A \quad (\text{orde satu}) \quad (21)$$

dalam hal ini reaksi berorde satu, sehingga k_a adalah konstanta laju reaksi orde satu (k_1).

Secara keseluruhan persamaan lajunya adalah

$$r_{ads} = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1 C_A}{1 + KC_A} \quad (22)$$

Keterangan:

K : Konstanta keseimbangan adsorpsi (M^{-1})

k_1 : Konstanta laju adsorpsi orde satu pada model Langmuir (menit^{-1})

r_{ads} : Laju adsorpsi (M menit⁻¹)

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

A : Merkuri (II)

S : Adsorben

Apabila variabel dalam persamaan (22) di atas dipisah akan diperoleh :

$$\frac{dC_A}{C_A} + KdC_A = -k_1 dt \quad (23)$$

Hasil integral dari persamaan (23) di atas adalah persamaan laju reaksi model

Langmuir terintegrasi :

$$\ln C_A + KC_A = -k_1 t + Y \quad (24)$$

Pada saat $t=0$, maka $C_A=C_0$, dengan mensubstitusikan pada persamaan (24)

di atas, akan diperoleh : $Y = \ln C_0 + KC_0$

Apabila Y disubstitusikan pada persamaan (24) akan diperoleh :

$$\ln C_A + KC_A = -k_1 t + \ln C_0 + KC_0 \quad (25)$$

Tata ulang persamaan (25) akan didapat :

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right) + K(C_0 - C_A) = k_1 t \quad (26)$$

Persamaan (26) di atas selanjutnya dibagi dengan $C_0 - C_A$ dan akan diperoleh :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_0 - C_A} + K = \frac{k_1 t}{C_0 - C_A} \quad (27)$$

Konstanta keseimbangan adsorpsi dan konstanta laju adsorpsi orde 1 dapat

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

tersebut menunjukkan harga k_1 , sedangkan intersepnya menunjukkan harga konstanta keseimbangan adsorpsi.

2.3.1.2 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS)

Model kinetika adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) didasarkan pada model kinetika reaksi unimolekuler (Gasser, 1985), menurut Langmuir-Hinshelwood, tahap penentu laju adalah tahap reaksi pada permukaan, dimana laju adsorpsinya adalah

$$r_{ads} = \frac{dC_A}{dt} = k_s \theta_1 \quad (\text{penentu laju}) \quad (28)$$

k_s merupakan konstanta laju reaksi pada permukaan ($s = surface = \text{permukaan}$)

Dari persamaan isoterm Langmuir

$$\theta_1 = \frac{KC_A}{1 + KC_A} \quad (29)$$

Maka laju adsorpsinya adalah

$$r_{ads} = \frac{k_s KC_A}{1 + KC_A} \quad (30)$$

Pada saat adsorbat teradsorpsi kuat, maka $KC_A \gg 1$ sehingga faktor $1 + KC_A \sim KC_A$, persamaan (29) dapat ditulis ulang:

$$r_{ads} = \frac{k_s KC_A}{KC_A} = k \quad (\text{orde nol}) \quad (31)$$

Pada saat adsorbat teradsorpsi lemah maka $KC_A \ll 1$, sehingga faktor $1 + KC_A \sim 1$, persamaan (29) dapat ditulis ulang :

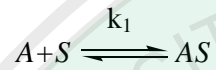
$$r_{ads} = k_s KC_A \quad (\text{orde satu}) \quad (32)$$

dalam hal ini reaksi berorde satu dimana $k_s K = k_1$, k_1 merupakan konstanta laju reaksi orde 1.

Secara keseluruhan persamaan lajunya adalah

$$r_{ads} = \frac{k_1 C_A}{1 + K C_A} \quad (33)$$

Adsorpsi merkuri pada enceng gondok apabila dituliskan menurut reaksi:



Laju reaksi menurut model kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood dapat ditulis sebagai berikut

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1 C_A}{1 + K C_A} \quad (34)$$

Keterangan:

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

k_1 : Konstanta laju reaksi orde satu pada model LHS (menit⁻¹)

r_A : Laju reaksi (M menit⁻¹)

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

A : Merkuri (II)

S : Adsorben

Apabila variabel dalam persamaan (33) di atas dipisah akan diperoleh :

$$-(1 + K C_A) dC_A = k_1 C_A dt$$

atau

$$\frac{dC_A}{C_A} + K dC_A = -k_1 dt \quad (35)$$

Hasil integral dari persamaan (35) di atas adalah :

$$\ln C_A + KC_A = -k_1 t + Y \quad (36)$$

Santosa (2001) mengasumsikan pada $t = 0$, konsentrasi spesies A dalam larutan (C_A) sama dengan konsentrasi awal (C_0) dan parameter K belum ada sebelum proses adsorpsi berlangsung, sehingga konstanta Y menjadi :

$$Y = \ln C_0 \quad (37)$$

Substitusi dari persamaan (37) kedalam persamaan (36) menghasilkan persamaan laju reaksi model Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) terintegrasi:

$$\begin{aligned} \ln C_A + KC_A &= -k_1 t + \ln C_0 \quad \text{atau} \\ \ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right) &= k_1 t + KC_A \end{aligned} \quad (38)$$

persamaan (38) dibagi C_A menghasilkan :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K \quad (39)$$

Berdasarkan pada persamaan (39) di atas, maka konstanta laju adsorpsi orde 1 (k_1)

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

persamaan :

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

Keterangan:

C_0 : Konsentrasi awal ion logam dalam larutan

C_A : Konsentrasi ion logam setelah waktu t

K : Konstanta keseimbangan adsorpsi

t : Waktu adsorpsi

k_1 : Konstanta laju adsorpsi orde 1

Setelah nilai K diperoleh maka energi adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan :

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

Keterangan:

E_{ads} : Energi adsorpsi (energi yang dihasilkan pada saat adsorpsi)

R : Tetapan gas universal (8,314 J/Kmol)

T : Temperatur mutlak (Kelvin)

K : Harga konstanta kesetimbangan adsorpsi

2.4 Spektrofotometri Inframerah

Spektrofotometer inframerah digunakan untuk penentuan struktur, khususnya senyawa organik. Sumber radiasi yang umum digunakan Nessler atau lampu glower dan menggunakan detektor termal. Radiasi inframerah hanya terbatas pada perubahan energi tingkat molekul, yang terjadi perbedaan dalam keadaan vibrasi. Syarat terbentuknya vibrasi pada molekul harus memiliki perubahan momen dipol.

Kelebihan dari FT-IR mencakup persyaratan ukuran sampel yang kecil, instrumen ini memiliki komputer yang terdedikasi sehingga memiliki kemampuan untuk menyimpan dan memanipulasi spektrum. Kelebihan lainnya adalah spektrum-spektrumnya bisa discan, disimpan dan ditransformasikan dalam

hitungan detik. Persyaratan ukuran sampel yang sangat kecil memudahkan kopling instrumen FT-IR dengan suatu mikroskop untuk analisis bagian-bagian sampel polimer yang sangat terlokalisasi (Stuart, 1996 dalam Ratna, 2006).

Penggunaan spektroskopi inframerah pada bidang kimia organik menggunakan daerah dari $650 - 4000 \text{ cm}^{-1}$. Sinar inframerah mempunyai energi yang lebih rendah dari sinar tampak atau ultraviolet sehingga tebal set yang dipakai pada spektrofotometer inframerah lebih tipis.

Cara penanganan sampel tergantung dari jenis cuplikan yaitu apakah berbentuk gas, cairan dan padatan. Ada tiga cara umum untuk mengolah cuplikan yang berupa padatan yaitu 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 di vakum 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 di bawah 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 cm^{-1} dan sukar mendapat ulangan yang tinggi (Hayati, 2007).

Secara umum digunakan diagram korelasi dalam mengidentifikasi gugus fungsi seperti pada tabel berikut (Socrates,1994)

Tabel 2.1 Daftar Korelasi Gugus Fungsi pada Spektra IR

Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Intensitas	Jenis Vibrasi
3500 - 3200*	Lebar	Uluran O-H
3500 - 3300	Lemah	Uluran N-H amina sekunder
3000 - 2800	Kuat	Uluran C-H alifatik
2500 - 2000	Lemah	Uluran $\text{C}=\text{N}$ alifatik nitril
1650 - 1550	Kuat	Uluran $\text{C}=\text{O}$ asimetri dari garam asam karboksilat
1600 - 1475*	Sedang-lemah	Uluran $\text{C}=\text{C}$ dari Aromatik
1465 - 1440	Sedang	CH asimetris dari CH_3
1450 - 1375*	Sedang	Tekukan C-H dari CH_3
1390-1370	Sedang	CH simetris dari CH_3
1320 - 1210*	Kuat	Uluran C-O dari asam karboksilat
1280-1180	Sedang	Uluran C-N amina
1490 - 1150	Sedang	Tekukan H-C-H
1310 - 1020	Lemah	Uluran C-O-C dari eter
1290 - 1000	Sedang-lemah	Tekukan C-H aromatik
770 - 650	Lemah	Tekukan O-H
750 - 600	Sedang	Tekukan N-H
850 - 500	Sedang	Uluran C-C
455 - 405	Sedang-lemah	Tekukan C-N-C amina sekunder
700 - 400**	-	Ikatan M-C
500 - 300**	-	Ikatan M-N

Sumber: Socrates, 1994; * Sastrohamidjojo, 1992 dan ** Brisdon (1998)

2.5 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Salah satu metode analisis merkuri yang telah banyak dilakukan peneliti adalah teknik CV-AAS (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry) atau disebut juga teknik pembentukan uap dingin. Teknik CV-AAS hanya dapat digunakan khusus untuk atomisasi merkuri. Metode ini mempunyai selektivitas dan sensitivitas yang cukup baik untuk analisis total merkuri dalam sampel. Kelemahan dari CV-AAS adalah tidak dapat mendeteksi berbagai jenis merkuri yang ada dalam sampel, dengan perkataan lain spesiasi merkuri dalam sampel tidak dapat dilakukan dengan metode CV-AAS. Parameter analisis yang ditentukan dengan metode CV-AAS antara lain garis resonansi (253,7nm), kuat arus katoda Hg (6 mA), tekanan gas nitrogen (0,5 bar) (Suheryanto, 2001).

Metode spektrofotometri serapan atom merupakan metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi kuantitas atom logam yang terdapat dalam suatu larutan. Atom-atom yang 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).

Prinsip dasar metode ini berdasarkan kenyataan bahwa atom dari mineral menyerap energi radiasi yang dipancarkan oleh lampu Hollow cathode, sehingga penurunan intensitas radiasi dari alat ini proporsional dengan konsentrasi jenis mineral yang dianalisa. Mesin ini mampu menganalisa berbagai jenis mineral dengan lampu yang spesifik untuk tiap jenis mineral, misalnya : lampu untuk Na,

lampu Fe, Cu dan lain-lain, namun dapat juga menggunakan lampu multi element seperti : untuk Ca, Fe, Zn dan Mg (Widjanarko, 1996).



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium kimia Universitas Islam Negeri Malang dan Universitas Brawijaya Malang, pada bulan Juli 2007 sampai dengan Maret 2008.

3.2 Bahan

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan sebagai biomassa adalah daun enceng gondok yang berasal dari desa Nanggung kecamatan Prambon kabupaten Nganjuk.

3.2.2 Bahan Kimia

Semua bahan kimia yang digunakan mempunyai derajat kemurnian proanalisis, meliputi: aquades, aquademin, merkuri klorida (HgCl_2), NaOH, HNO_3 dan HCl.

3.3 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat-alat gelas, oven, shaker (SM 25 Edmund Buhler), pH universal, kertas saring, ayakan 120–150 Mesh, spektrofotometer IR (Merk SHIMADZU, Tipe 8400 S) dan seperangkat spektrofotometri serapan atom (Merk SHIMADZU).

3.4 Tahapan Penelitian

Adapun tahap penelitian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan biomassa enceng gondok
2. Karakterisasi spektra IR biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II).
3. Penentuan model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok melalui variasi waktu kontak: 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 dan 150 menit.
4. Analisa Data

3.4.1 Persiapan Biomassa Daun Enceng Gondok (Setiawan, 2005)

Daun enceng gondok dicuci kemudian dikeringkan pada oven dengan suhu 90°C sampai 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 aquademin sampai netral. Sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 50 – 60°C sampai diperoleh berat konstan.

3.4.2 Karakterisasi Biomassa Daun Enceng Gondok

Sejumlah sampel biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II) dibuat dalam bentuk pellet dengan KBr. Pellet dibuat dengan penghalusan bersama enceng gondok dengan KBr kering dan diberi tekanan dalam kondisi hampa. Sampel dalam bentuk pellet kemudian

dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah pada bilangan gelombang 4000 - 400 cm^{-1} , resolusi 2.0, scans 45.

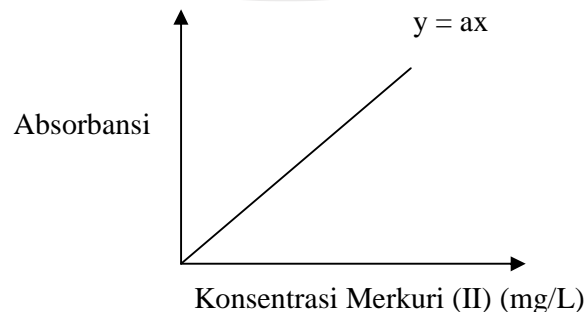
3.4.3 Penentuan Model Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok melalui Pendekatan Variasi Waktu Kontak

Larutan merkuri (II) sebanyak 25 ml dengan konsentrasi 100 mg/L pada pH 6 hasil penelitian Ayubi (2008) dimasukkan ke dalam erlemeyer 100 ml. Kemudian ditambahkan sampel biomassa sebanyak 0,1 gram dan dikocok menggunakan shaker dengan kecepatan 60 rpm pada suhu 27°C dan dengan variasi waktu 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 dan 150 menit. Setelah itu disaring dengan kertas saring dan dianalisis menggunakan AAS.

3.4.4 Analisa Data

3.4.4.1 Penentuan Konsentrasi Merkuri (II) dengan Kurva Standar

Kurva standar larutan merkuri (II) dengan konsentrasi misalnya 0,5; 1; 50; 150 mg/L dapat dibuat dengan mengukur absorbansinya menggunakan AAS. Hasil pengukuran AAS tersebut digunakan untuk membuat kurva antara konsentrasi merkuri (II) (mg/L) terhadap absorbansi (A) diperoleh persamaan garis linier $y = ax$ dengan grafik sebagai berikut :



Konsentrasi merkuri (II) sisa adsorpsi (C_A) dapat dihitung dari persamaan tersebut. Penentuan konsentrasi merkuri (II) teradsorpsi dapat diperoleh dari pengurangan konsentrasi awal (C_0) dengan konsentrasi sisa (C_A).

3.4.4.2 Analisis Spektroskopi Inframerah

Hasil pengujian gugus fungsi dibandingkan antara biomassa daun enceng gondok sebelum diinteraksikan dengan merkuri (II) dan sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II). Sehingga, dapat diketahui interaksi antara biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) dari perubahan-perubahan gugus fungsi pada kedua spektra.

3.4.4.3 Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

Tahapan untuk menentukan model kinetika adsorpsi meliputi dua tahap yaitu tahap 1 penentuan reaksi orde nol atau orde bukan nol terhadap konsentrasi zat yang teradsorpsi dan tahap 2 jika ternyata laju reaksi bukan berorde nol, maka penentuan model kinetika adsorpsi diasumsikan terjadi sebagai orde satu.

a. Tahap 1 Penentuan Reaksi Orde Nol atau Reaksi Orde Pseudo Nol

Laju reaksi (r) adalah perubahan jumlah reaktan maupun produk per perubahan waktu. Laju reaksi orde nol adalah laju reaksi yang tidak bergantung pada konsentrasi zat yang bereaksi.

Misalnya : untuk reaksi $A \longrightarrow B$, maka laju adsorpsinya adalah

$$r_{ads} = \frac{d[A]}{dt} = k[A]^0 = k$$

Maka jika dibuat kurva hubungan antara waktu terhadap konsentrasi merkuri (II) yang teradsorpsi akan diperoleh suatu garis linier dengan nilai gradien yang konstan.

Laju reaksi orde pseudo nol merupakan laju reaksi yang bergantung pada konsentrasi zat yang bereaksi, namun secara makro dalam eksperimen tidak kelihatan perubahan konsentrasinya, sehingga tampak tidak bergantung pada konsentrasi zat yang bereaksi.

Laju reaksi bukan orde nol merupakan laju reaksi yang bergantung pada konsentrasi zat yang bereaksi.

Misal : untuk reaksi $A \longrightarrow B$, maka laju adsorpsinya adalah

$$r_{ads} = \frac{d[A]}{dt} = k[A]^x$$

Jika x merupakan bilangan rasional bukan nol, maka kurva hubungan antara waktu terhadap konsentrasi merkuri (II) yang teradsorpsi akan diperoleh suatu garis linier atau non linier dengan nilai gradien yang tidak konstan (berubah).

b. Tahap 2 Penentuan Model Kinetika Adsorpsi jika Laju Reaksi bukan merupakan Laju Reaksi Orde Nol

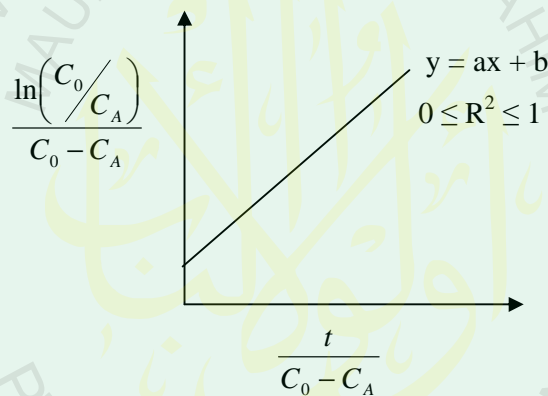
Laju reaksi diasumsikan berorde satu, sesuai dengan model kinetika adsorpsi Langmuir, model kinetika adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) dan model kinetika sederhana.

1) Model kinetika adsorpsi Langmuir mempunyai bentuk persamaan linier sebagai berikut :

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

Persamaan tersebut dapat dibuat kurva hubungan antara $\frac{t}{C_0 - C_A}$ terhadap

$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_0 - C_A}$, sehingga bentuk kurvanya adalah



Bentuk kurva di atas akan diperoleh persamaan garis $y = ax + b$, nilai a (slope) menunjukkan harga konstanta laju adsorpsi orde satu (k_1), sedangkan nilai b (intersepnya) menunjukkan harga konstanta keseimbangan adsorpsi (K).

Energi adsorpsi dapat dihitung setelah nilai K diperoleh, dengan menggunakan persamaan :

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

Keterangan :

E_{ads} : Energi adsorpsi (energi yang dihasilkan pada saat adsorpsi)

R : Tetapan gas universal (8,314 J/Kmol)

T : Temperatur mutlak (Kelvin)

K : Harga konstanta kesetimbangan adsorpsi

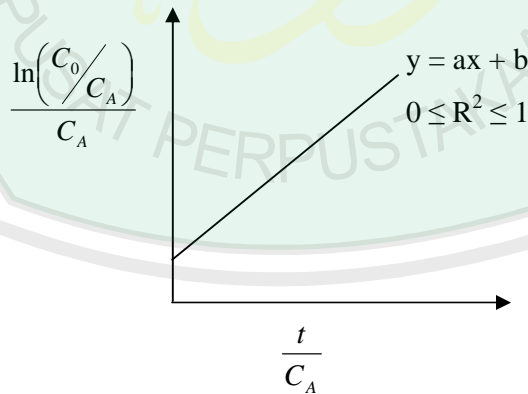
2) Model kinetika adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS)

mempunyai bentuk persamaan linier sebagai berikut :

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

Persamaan tersebut dapat dibuat kurva hubungan antara $\frac{t}{C_A}$ terhadap

$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A}$ sehingga bentuk kurvanya adalah



Bentuk kurva di atas akan diperoleh persamaan garis $y = ax + b$, nilai a (slope) menunjukkan harga konstanta laju adsorpsi orde satu (k_1), sedangkan nilai b (intersepsnya) menunjukkan harga konstanta keseimbangan adsorpsi (K).

Energi adsorpsi dapat dihitung setelah nilai K diperoleh, dengan menggunakan persamaan :

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

Keterangan:

E_{ads} : Energi adsorpsi (energi yang dihasilkan pada saat adsorpsi)

R : Tetapan gas universal (8,314 J/Kmol)

T : Temperatur mutlak (Kelvin)

K : Harga konstanta kesetimbangan adsorpsi

Analisa Korelasi

Penentuan model kinetika adsorpsi dalam penelitian ini dapat dilihat dari besarnya nilai R^2 dan nilai R yaitu yang mendekati nilai 1. R adalah *koefisien korelasi* yang menyatakan hubungan linier antara kedua variabel. Nilai R berkisar antara 0 sampai 1 ($0 \leq R \leq 1$). R mendekati satu menunjukkan hubungan linier yang sangat erat antara kedua variabel. Jika nilai R model kinetika adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) lebih besar dibandingkan dari nilai R model kinetika adsorpsi Langmuir, maka model kinetika adsorpsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah model kinetika adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS). Demikian juga sebaliknya, jika nilai R model kinetika adsorpsi Langmuir lebih besar dibandingkan nilai R dari model kinetika adsorpsi menurut Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) maka model kinetika adsorpsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah model kinetika adsorpsi Langmuir.

Nilai R^2 adalah *koefisien determinasi* yang mempunyai interval mulai dari 0 sampai 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$). Nilai R^2 semakin besar (mendekati 1), maka semakin baik model regresi tersebut, dalam artian variabel independent (x) dapat menerangkan variabilitas dari variabel dependent (y) (Sulaiman, 2004).

3) Model Kinetika Sederhana

Model kinetika sederhana digunakan pada analisis penelitian, jika model kinetika adsorpsi Langmuir dan model kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) tidak dapat menerangkan proses adsorpsi. Model kinetika ini dilakukan dengan cara :

- a) Membagi zona-zona laju adsorpsi menjadi beberapa tahap linier
- b) Mengevaluasi setiap tahap laju adsorpsi linier dengan model kinetika adsorpsi Langmuir.

BAB IV

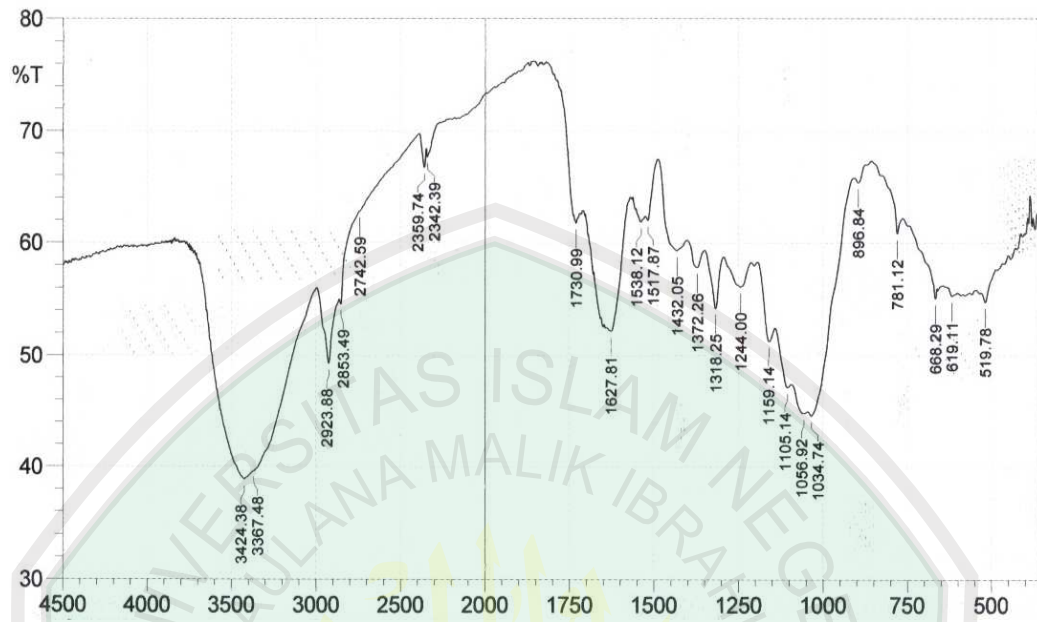
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan hasil penelitian dan pembahasan tentang:

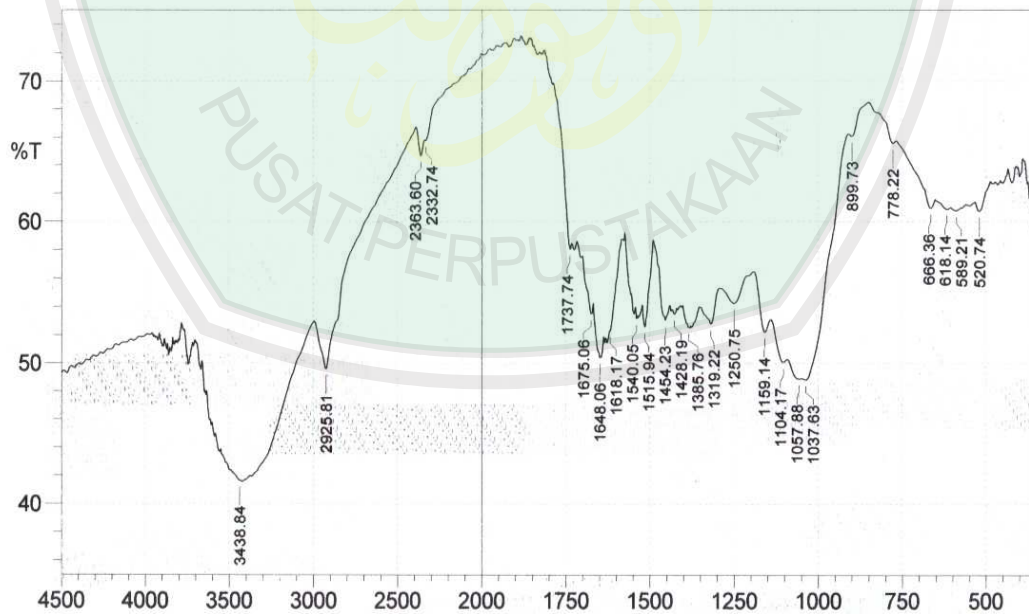
- (1) karakter vibrasi IR pada ikatan antara biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II)
- (2) Model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok

4.1 Karakter Vibrasi IR pada Ikatan antara Biomassa Daun Enceng Gondok Sebelum dan Sesudah diinteraksikan dengan Merkuri (II)

Biomassa yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun enceng gondok yang sudah diaktivasi dengan pemanasan dan pengasaman pada konsentrasi 0,01 M. Biomassa daun enceng gondok yang diperoleh dianalisis dengan spektroskopi FTIR. Hasil spektra FTIR biomassa daun enceng gondok sebelum diinteraksikan dengan merkuri (II) dibandingkan dengan spektra biomassa daun enceng gondok sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II). Spektra biomassa daun enceng gondok sebelum diinteraksikan dengan merkuri (II), jika dibandingkan dengan spektra biomassa daun enceng gondok sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II) terlihat bahwa kedua spektra tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4.1 Spektra FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok Sebelum diinteraksikan dengan Merkuri (II)



Gambar 4.2 Spektra FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok Sesudah diinteraksikan dengan Merkuri (II)

Tabel 4.1 Perbedaan Serapan FTIR antara Biomassa Daun Enceng Gondok Sebelum dan Sesudah Diinteraksikan dengan Merkuri (II)

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) Biomassa Daun Enceng Gondok		Bilangan Gelombang Referensi (cm ⁻¹)	Intensitas Referensi	Vibrasi Referensi
	Sebelum mengadsorpsi Merkuri	Setelah mengadsorpsi Merkuri			
1	3424,38	3438,84	3500-3200*	Lebar	Uluran O-H
2	3367,48	-	3500-3300	Lemah	Uluran N-H amina sekunder
3	2923,88	2925,81	3000-2800	Kuat	Uluran C-H alifatik
4	2359,74	2363,6	2500-2000	Lemah	Uluran -C=N alifatik nitril
	2342,39	2332,74			
5	1627,81	1648,06	1650-1550	Kuat	Uluran C=O asimetri dari garam asam karboksilat
6	1538,12	1540,05	1600-1475*	Sedang-lemah	Uluran C=C dari Aromatik
7	1517,87	1515,94			
8		1454,23	1465-1440	Sedang	CH asimetris dari CH ₃
9	1432,05	1428,19	1450-1375*	Sedang	Tekukan C-H dari CH ₃
10	1372,26	1385,76	1390-1370	Sedang	CH simetris dari CH ₃
11	1318,25	1319,22	1320-1210*	Kuat	Uluran C-O dari asam karboksilat
12	1244	1250,75	1280-1180	Sedang	Uluran C-N amina
13	1159,14	1159,14	1490-1150	Sedang	Tekukan H-C-H
14	1105,14	1104,17	1310-1020	Lemah	Uluran C-O-C dari eter
15	1056,92	1057,88	1290-1000	Sedang-lemah	Tekukan C-H aromatik
16	1034,74	1037,63			
17	896,84	899,73	900-690*	Lemah	Tekukan =C-H keluar bidang dari aromatik
18	781,12	778,22			
19	668,29	666,36	770-650	Lemah	Tekukan O-H
20	619,11	618,14	750-600	Sedang	Tekukan N-H
21	-	589,21	850-500	Sedang	Uluran C-C
22	519,78	520,74			
23	450-350	-	455-405	Sedang-lemah	Tekukan C-N-C amina sekunder
24	-	450-350	700-400**	-	Ikatan M-C
25	-	450-350	500-300**	-	Ikatan M-N

Sumber : Socrates (1994)

* Sastrohamidjojo (1992)

** Brisdon (1998)

Ket : M = Merkuri (II)

Berdasarkan spektra FTIR Gambar 4.1, pada biomassa daun enceng gondok sebelum diinteraksikan dengan merkuri (II) terdapat pita serapan lebar pada bilangan gelombang $3424,38\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H. Pita serapan lemah pada bilangan gelombang $3367,48\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur N-H dari amina sekunder. Spektra O-H dan N-H karena kedua serapan tersebut cukup lebar maka terjadi penumpukan spektra. Pita serapan kuat pada bilangan gelombang $2923,88\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur C-H alifatik. Pita serapan kuat pada bilangan gelombang $1627,81\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur C=O dari garam asam karboksilat. Pita serapan sedang sampai lemah pada bilangan gelombang $1538,12\text{ cm}^{-1}$ dan $1517,87\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur C=C dari senyawa aromatik.

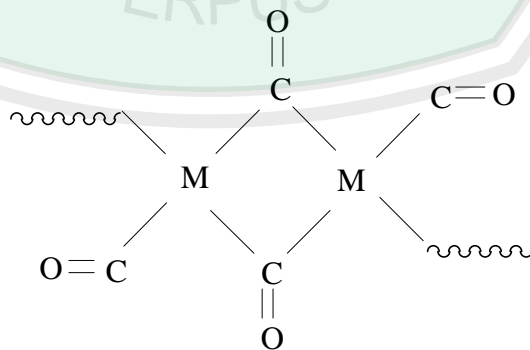
Pita serapan sedang pada bilangan gelombang $1432,05\text{ cm}^{-1}$ dan $1372,26\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi tekukan CH_3 . Serapan dengan intensitas kuat pada bilangan gelombang $1318,25\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur C-O dari asam karboksilat. Adanya uluran C-N amina dengan serapan sedang ditunjukkan pada bilangan gelombang 1244 cm^{-1} .

Pita serapan sedang sampai lemah pada bilangan gelombang $1056,92\text{ cm}^{-1}$ dan $1034,74\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya tekukan C-H aromatik. Pada bilangan gelombang $668,29\text{ cm}^{-1}$ dengan serapan lemah menunjukkan adanya tekukan O-H. Adanya tekukan N-H ditunjukkan dengan serapan lemah pada bilangan gelombang 619 cm^{-1} .

Munculnya serapan pada bilangan gelombang $1627,81\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi ulur C=O dari garam asam karboksilat, diperkirakan

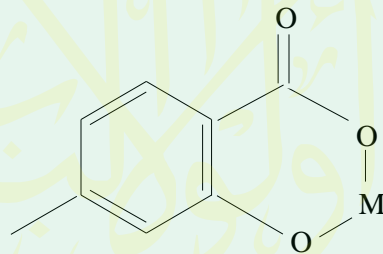
karena proses pemurnian biomassa daun enceng gondok dengan menggunakan larutan HCl 0,01 M yang dilakukan kurang mampu membebaskan biomassa daun enceng gondok dari pengotor berupa mineral, sehingga gugus yang ada dalam asam karboksilat sebagian masih terikat oleh mineral.

Pada spektra FTIR biomassa daun enceng gondok sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II) seperti pada Gambar 4.2, terlihat bahwa sebagian besar serapan mengalami pergeseran bilangan gelombang, hal ini dapat dilihat pada serapan $3438,84\text{ cm}^{-1}$ dan $1648,06\text{ cm}^{-1}$. Pada serapan tersebut mengalami selisih pergeseran bilangan gelombang yang signifikan dibandingkan serapan yang lain. Pergeseran serapan pada bilangan gelombang tersebut dimungkinkan karena adanya interaksi antara merkuri (II) dengan -OH dan C=O dari garam asam karboksilat. Adanya serapan pada bilangan gelombang sekitar $1648,06\text{ cm}^{-1}$ dan serapan pada bilangan gelombang $700\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ juga memungkinkan adanya ikatan antara logam dengan CO (M-CO) yang membentuk suatu ligan jembatan (Brisdon, 1998). Interaksi dugaan yang mungkin antara situs aktif biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) tersaji pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Interaksi Dugaan antara Situs Aktif Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II) (M-CO) yang membentuk Suatu Ligan Jembatan (Brisdon, 1998).

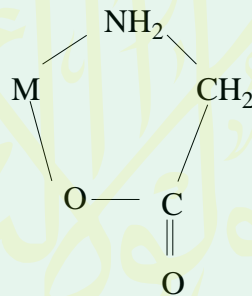
Peningkatan intensitas spektra pada serapan $3438,84\text{ cm}^{-1}$, menunjukkan terjadinya penurunan serapan O-H yang menyebabkan konsentrasi O-H semakin berkurang. Hal ini diperkirakan sebagian gugus O-H dalam biomassa pada pH 6 mengalami deprotonasi saat pengocokan berlangsung, seperti yang diungkapkan Ayubi (2008) tentang pengaruh variasi pH terhadap adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok. Kemungkinan adanya deprotonasi ini menyebabkan gugus O-H dapat berperan dalam pengikatan merkuri (II). Interaksi dugaan yang mungkin antara situs aktif biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) tersaji pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Interaksi Dugaan antara Situs Aktif Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II) (-COOM dan -OM) melalui Struktur Cincin Khelat (Andreas, 2006).

Spektra FTIR biomassa daun enceng gondok sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II) juga memperlihatkan adanya pengurangan puncak serapan dan perubahan bentuk serapan. Hal ini dapat dilihat pada serapan $3367,48\text{ cm}^{-1}$ dan perubahan bentuk serapan pada bilangan gelombang antara $450\text{-}350\text{ cm}^{-1}$. Lemahnya puncak serapan pada bilangan gelombang $3367,48\text{ cm}^{-1}$ diperkirakan konsentrasi N-H sedikit sehingga pada saat proses adsorpsi berlangsung serapan

tersebut tidak terdeteksi lagi pada spektra biomassa daun enceng gondok sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II). Hilangnya puncak serapan dan adanya perubahan bentuk serapan pada bilangan gelombang tersebut diperkirakan karena gugus N-H dari biomassa daun enceng gondok telah terikat oleh merkuri (II). Hal ini diperkuat oleh Brisdon (1998) yang menyatakan bahwa pada bilangan gelombang antara $500-300\text{ cm}^{-1}$ terdapat suatu ikatan antara logam dengan N (M-N). Interaksi dugaan yang mungkin antara situs aktif biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) tersaji pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Interaksi Dugaan antara Situs Aktif Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II) (M-NH₂ dan -COOM) sebagai Ligan Bidentat (Socrates, 1994).

Karakterisasi ikatan antara biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) penting sekali untuk memperkirakan tipe pembentukan ikatan antara situs aktif dengan merkuri (II). Ayubi (2008) memperkirakan bahwa gugus biomassa daun enceng gondok yang berperan dalam mengadsorpsi merkuri (II) adalah -COOH dan -NH₂. Hasil analisis karakter ikatan yang diperoleh dari spektra FTIR biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan merkuri (II) di atas dapat diperkirakan bahwa tipe ikatan

antara situs aktif dengan merkuri (II) beraneka ragam antara lain M-N, M-CO, COOM, OM. Namun tidak menutup kemungkinan adanya situs lain yang dapat berinteraksi dengan merkuri (II) karena senyawa yang terdapat pada biomassa daun enceng gondok sangatlah kompleks.

Kemampuan biomassa daun enceng gondok sebagai adsorben dalam menyerap merkuri (II) tersebut disebabkan karena adanya interaksi antara situs aktif yang ada dalam biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II). Peran dari situs-situs aktif ini dapat menunjukkan dan mengingatkan kepada kita akan adanya kebesaran dan kekuasaan Allah, salah satunya adalah melalui dunia tumbuh-tumbuhan. Sebagaimana yang tercantum didalam al-Qur'an Surat Al-Syu'ara ayat 7 yang berbunyi:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً ﴿٨﴾

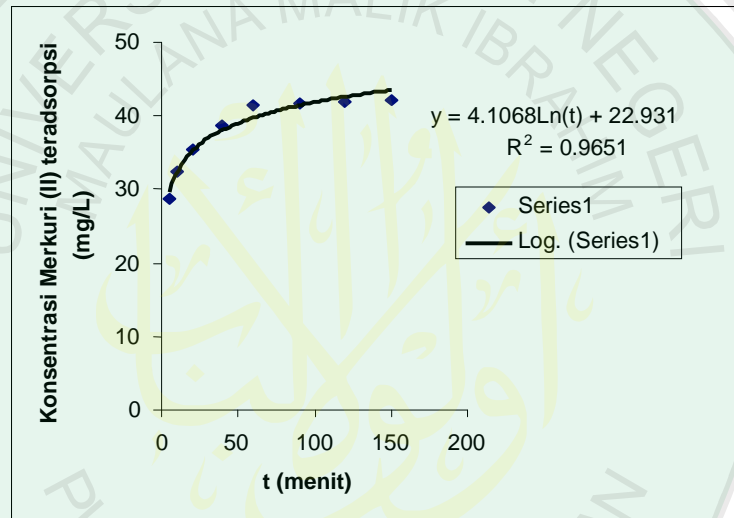
Artinya : *Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu pelbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik? Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat suatu tanda kekuasaan Allah*

4.2 Model Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok

Penentuan kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok dapat dilakukan dengan memvariasikan waktu pengocokan. Variasi waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 dan 150 menit. Penentuan variasi waktu tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa cepat proses adsorpsi berlangsung. Proses adsorpsi ini dilakukan pada konsentrasi

100 mg/L dan pH 6 dengan temperatur 27°C. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui model kinetika adsorpsi.

Hasil pengamatan berdasarkan fitting kurva dengan membuat hubungan antara waktu terhadap konsentrasi merkuri (II) yang teradsorpsi, diperoleh suatu persamaan yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pengaruh Waktu Interaksi terhadap Konsentrasi Merkuri (II) yang Teradsorpsi

Hasil fitting kurva seperti pada Gambar 4.6, secara matematis memperlihatkan hubungan tersebut tidak linier yang ditunjukkan dengan garis lengkung dengan persamaan $y = 4,1068 \ln(t) + 22,931$. Berdasarkan persamaan tersebut maka laju adsorpsi dapat dihitung secara matematis dengan cara differensial, sehingga diperoleh suatu rumusan sebagai berikut

$$r_{ads} = \frac{d[\text{Hg}^{2+}]_{\text{teradsorpsi}}}{dt} = \frac{4,1068}{t}$$

Jika t merupakan waktu maka laju adsorpsi dipengaruhi oleh waktu. Semakin lama waktu pengocokan maka semakin besar jumlah merkuri (II) yang teradsorpsi, sehingga pada waktu yang berbeda laju adsorpsinya juga berbeda, sesuai dengan firman Allah dalam al-Qur'an surat Al-Qamar ayat 49 yang berbunyi:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

Artinya : "Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran."

Berdasarkan kurva hubungan antara waktu terhadap konsentrasi merkuri (II) yang teradsorpsi (Gambar 4.6) juga dapat diketahui bahwa nilai gradien setiap titik ternyata tidak konstan (berubah). Hal ini dapat disimpulkan bahwa reaksi yang berlangsung bukan reaksi orde nol atau pseudo nol. Berdasarkan analisa tersebut maka penentuan model kinetika adsorpsi dalam penelitian ini akan diuji dengan model kinetika adsorpsi Langmuir dan model kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS).

Model kinetika adsorpsi Langmuir dan model kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) mengasumsikan proses adsorpsi yang berlangsung pada orde satu. Model kinetika adsorpsi Langmuir didasarkan pada model isoterm Langmuir, sehingga model kinetika adsorpsinya sesuai dengan persamaan 27 pada bab II :

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

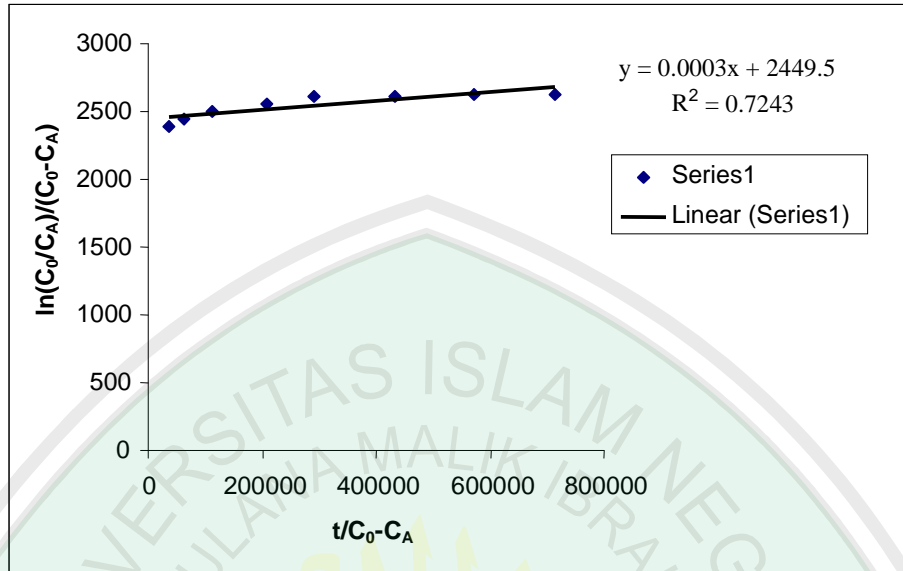
dengan membuat grafik $\frac{t}{C_0 - C_A}$ terhadap $\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_0 - C_A}$ maka koefisien determinasi (R^2), konstanta keseimbangan dan konstanta laju adsorpsi dapat diketahui.

Model kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) didasarkan pada mekanisme Langmuir Hinshelwood dengan asumsi bahwa reaksi permukaan merupakan tahap penentu laju. Pada saat $t = 0$, konsentrasi merkuri (II) dalam larutan sama dengan konsentrasi awal dan konstanta keseimbangan belum ada. Berdasarkan alasan tersebut, Santosa mengusulkan model kinetika adsorpsi. Pada reaksi unimolekuler menurut Langmuir-Hinshelwood usulan Santosa model kinetikanya seperti yang ditunjukkan dalam bab II persamaan 39 adalah sebagai berikut:

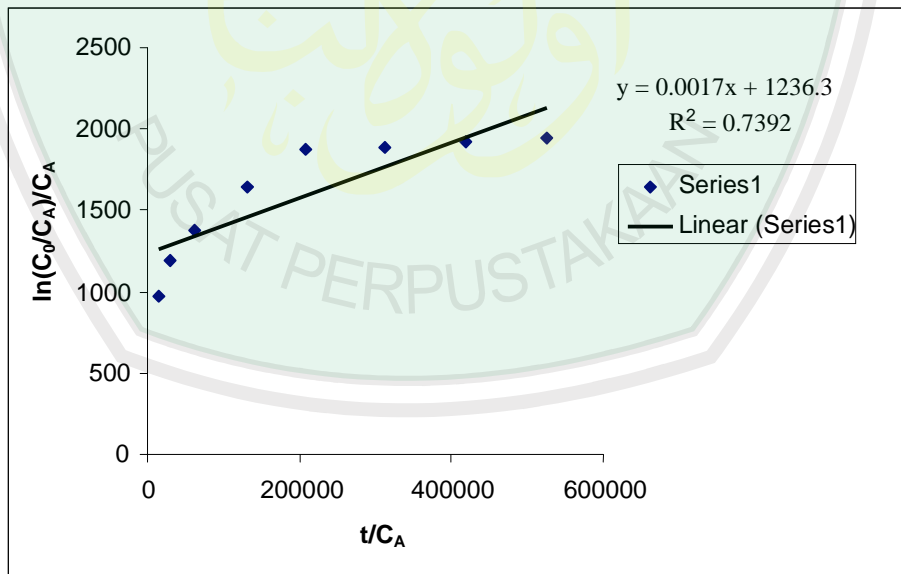
$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \frac{t}{C_A} + K$$

dengan membuat grafik $\frac{t}{C_A}$ terhadap $\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_A}$ maka koefisien determinasi (R^2), konstanta keseimbangan dan konstanta laju adsorpsi dapat diketahui.

Hasil perhitungan yang didapat pada penelitian ini dengan menggunakan model kinetika adsorpsi Langmuir dan model kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan 4.8, data selengkapnya pada Lampiran 6 dan 7.



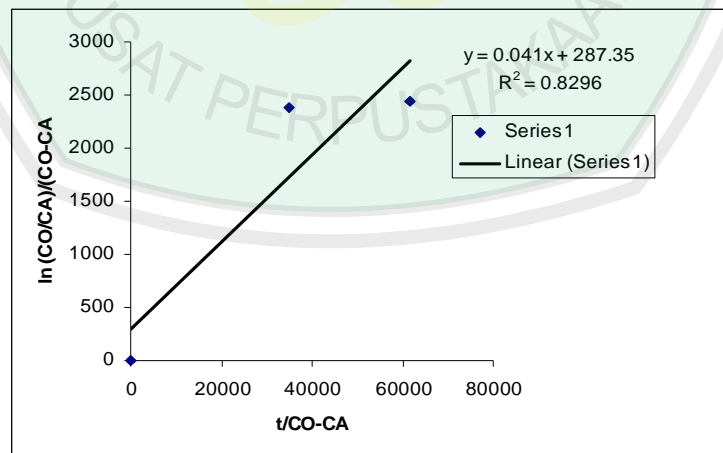
Gambar 4.7 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir



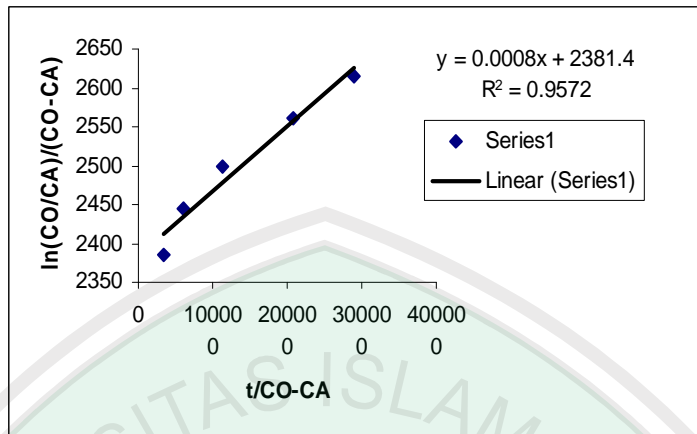
Gambar 4.8 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS)

Hasil perbandingan nilai R^2 , menunjukkan bahwa model kinetika adsorpsi Langmuir memiliki nilai R^2 sebesar 0,7243 yang tidak jauh berbeda dengan model kinetika Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS) sebesar 0,7392. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kedua model tidak baik digunakan untuk menerangkan proses adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok, sehingga digunakan model kinetika sederhana.

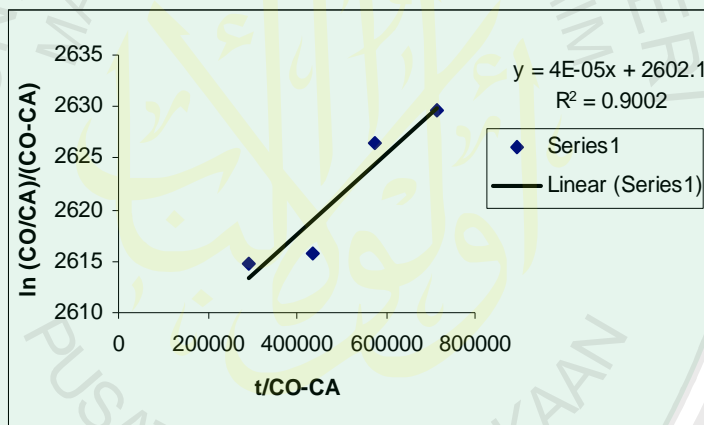
Analisa laju adsorpsi melalui model kinetika sederhana ditunjukkan pada Gambar 4.6, setidaknya adsorpsi dapat dibagi menjadi tiga tahap linier yaitu tahap I, tahap II dan tahap III. Tahap I terjadi pada menit ke-0 sampai menit ke-10 proses adsorpsi ini berlangsung cepat. Tahap II pada menit ke-5 sampai menit ke-60 proses adsorpsi berlangsung lambat dan tahap III pada menit ke-60 sampai menit ke-150 proses adsorpsi mendekati keseimbangan. Hasil perhitungan model kinetika Langmuir tiap tahap laju linier ditunjukkan pada Gambar 4.9, 4.10 dan 4.11, data selengkapnya pada Lampiran 6.



Gambar 4.9 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir Tahap I (0-10 menit)



Gambar 4.10 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir Tahap II (5-60 menit)



Gambar 4.11 Model Kinetika Adsorpsi Langmuir Tahap III (60-150 menit)

Pada tahapan tersebut nilai konstanta laju adsorpsi (k), konstanta keseimbangan adsorpsi (K) dan energi adsorpsi (ΔE_{ads}) dihitung dengan model kinetika Langmuir seperti yang disajikan dalam Tabel 4.2, perhitungan selengkapnya akan disajikan dalam Lampiran 8.

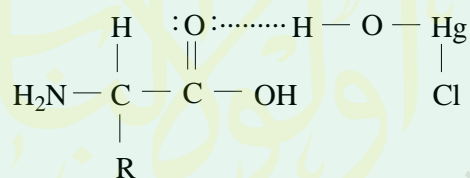
Tabel 4.2 Perbandingan Konstanta Laju Adsorpsi, Konstanta Keseimbangan dan Energi Adsorpsi

Tahapan	Konstanta Laju Adsorpsi (k) (menit ⁻¹)	Konstanta Keseimbangan (K) (mol/L) ⁻¹	ΔE_{ads} (kJ/mol)	R^2
I	$4,1 \cdot 10^{-2}$	287,35	14,119	0,8296
II	$8 \cdot 10^{-4}$	2381,4	19,394	0,9572
III	$4 \cdot 10^{-5}$	2602,1	19,615	0,9002

Data dalam Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai konstanta laju adsorpsi pada tahap I > tahap II > tahap III, maka proses adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok pada tahap I berlangsung lebih cepat daripada tahap berikutnya. Hal ini berdasarkan persamaan 12 yang merumuskan bahwa semakin besar nilai konstanta laju adsorpsi maka laju adsorpsinya akan semakin besar, sehingga laju adsorpsi akan berbanding lurus dengan konstanta laju adsorpsi.

Penerapan persamaan kinetika adsorpsi juga dapat digunakan untuk mengetahui besarnya energi adsorpsi dengan menggunakan persamaan $\Delta E_{ads} = R T \ln K$. Energi adsorpsi ini dapat digunakan untuk memperkirakan adsorpsi berlangsung secara kimia (chemisorpsi) atau fisika (fisorpsi). Batas minimal energi adsorpsi kimia menurut Adamson (1990) adalah 20,92 kJ/mol. Hasil perhitungan energi adsorpsi dalam Tabel 4.2 pada tahap I sebesar 14,119 kJ/mol, tahap II sebesar 19,394 kJ/mol dan tahap III sebesar 19,615 kJ/mol, maka adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok memenuhi kriteria sebagai adsorpsi fisika tetapi bersifat cukup kuat untuk tahap II dan III. Energi

yang diperoleh pada tahap I, II dan III menunjukkan bahwa ikatan yang terjadi antara situs-situs aktif pada biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) merupakan ikatan fisisorpsi. Ikatan fisisorpsi ini terjadi karena adanya gaya intermolekuler (ikatan hidrogen), sehingga pada adsorpsi ini merkuri (II) tidak terikat kuat (lemah) pada permukaan biomassa yang mengakibatkan merkuri (II) mudah bergerak/lepas dari satu bagian situs ke bagian situs yang lain (*reversible*). Energi ikatan hidrogen adalah antara 4 sampai 45 kJ/mol, jauh lebih lemah daripada ikatan ionik atau ikatan kovalen yang besarnya 400 sampai 500 kJ/mol (Effendy, 2006). Interaksi dugaan ikatan hidrogen yang mungkin terjadi antara situs aktif biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) tersaji pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Interaksi Dugaan Ikatan Hidrogen antara Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II) (Al-Ayubi, 2008).

Kemiripan nilai energi adsorpsi pada tahap II dan III juga menunjukkan jenis interaksi merkuri (II) dengan situs aktif pada biomassa kemungkinan hampir sama, namun pada tahap I nilai energi adsorpsi memiliki selisih yang jauh dengan nilai energi adsorpsi tahap II dan III. Adanya perbedaan energi adsorpsi pada tahap I menunjukkan jenis interaksi merkuri (II) dengan situs aktif pada biomassa kemungkinan berbeda dengan tahap II dan III.

Model Langmuir mengasumsikan bahwa semua situs aktif pada permukaan adsorben adalah homogen dan antara molekul adsorbat tidak saling berinteraksi. Padahal hasil pengamatan pola isoterm adsorpsi merkuri (II) yang diperoleh pada penelitian Al-Ayubi (2008) menunjukkan bahwa adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir dengan asumsi situs aktif yang berperan pada permukaan adsorben adalah heterogen. Hal ini juga sudah disebutkan dalam penelitian Al-Ayubi (2008) bahwa kemungkinan tidak hanya ada satu jenis tipe interaksi adsorpsi pada biomassa, melainkan berbagai macam tipe interaksi karena situs aktif yang ada pada biomassa bermacam-macam. Sementara hasil analisis karakter ikatan yang diperoleh dari spektra FTIR membuktikan adanya tipe ikatan yang bermacam-macam antara lain M-N, M-CO, COOM, OM. Hal ini membuktikan bahwa situs aktif pada biomassa daun enceng gondok yang berperan dalam mengikat merkuri (II) juga beraneka ragam. Informasi lain yang diperoleh dari hasil penelitian Al-Ayubi (2008) tentang pengaruh variasi pH terhadap adsorpsi merkuri (II) menunjukkan adanya pengaruh variasi pH terhadap spesiasi situs aktif pada biomassa yang diduga berupa gugus-gugus pada asam amino sehingga pada pH yang berbeda situs aktif biomassa membentuk spesiasi yang berbeda.

Hal ini didukung oleh Krystiyanti (2008) yang mengatakan bahwa selama proses adsorpsi berlangsung terjadi peningkatan pH menjadi lebih asam pada larutan merkuri (II). Jadi selama proses adsorpsi berlangsung, situs aktif pada biomassa yang berperan dalam mengadsorpsi merkuri (II) itu berbeda (heterogen). Situs aktif yang diduga oleh Krystiyanti adalah $-H^+$ dari COOH, dan

dugaan interaksi yang terjadi adalah pertukaran kation. Akan tetapi tidak menutup kemungkinan adanya situs $-H^+$ lain yang mengalami deprotonasi misalnya $-H^+$ senyawa fenolat, mengingat biomassa daun enceng gondok mengandung senyawa yang sangat kompleks. Interaksi dugaan pertukaran kation yang mungkin terjadi antara situs aktif biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) tersaji pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Interaksi Dugaan Pertukaran Kation antara Biomassa Daun Enceng Gondok dengan Merkuri (II) (Krystiyanti, 2008).

Berdasarkan penjelasan diatas model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok secara kuantitatif mengikuti model kinetika Langmuir pada tiap tahap laju yang linier, akan tetapi situs aktif yang terdapat pada biomassa sebenarnya bersifat heterogen. Hal ini bertentangan dengan asumsi Langmuir, karena situs aktifnya tidak homogen. Perlu diketahui bahwa, nilai energi adsorpsi pada tiap tahap laju linier merupakan nilai energi rata-rata adsorpsi sehingga tidak dapat diartikan bahwa jenis ikatan atau interaksi yang terjadi hanya satu jenis. Secara umum ikatan yang terjadi antara situs-situs aktif pada biomassa daun enceng gondok dengan merkuri (II) merupakan ikatan fisisorpsi.

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan kebenaran al-Qur'an sebagai sumber ilmu pengetahuan yang tidak boleh dilepaskan. Pada beberapa ayat tersebut kita semakin yakin bahwa misteri alam yang belum terungkap

jawabannya secara ilmu manusia, sebenarnya hanyalah ketidaktahuan manusia akan wahyu Tuhan sebagai literatur yang paling benar keberadaannya. Sesuatu yang belum diketahui oleh manusia tentang alam semesta merupakan obyek penelitian bagi manusia. Allah selalu mendorong bahkan memerintahkan manusia untuk mengadakan penelitian terhadap alam semesta dengan segala isinya, sesuai dengan firman Allah dalam surat Yunus ayat 10 yang berbunyi :

قُلْ أَنْظَرُوا مَاذَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا تُعْنِي الْآيَاتُ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُونَ ﴿١٠١﴾

Artinya : Katakanlah: "Perhatikanlah apa yang ada di langit dan di bumi. tidaklah bermanfaat tanda kekuasaan Allah dan rasul-rasul yang memberi peringatan bagi orang-orang yang tidak beriman".

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, mengenai studi kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis karakter ikatan yang diperoleh dari spektra FTIR biomassa daun enceng gondok sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan merkuri (II) dapat diperkirakan bahwa tipe ikatan antara situs aktif dengan merkuri (II) beraneka ragam antara lain M-N, M-CO, COOM, OM, dengan M adalah merkuri (II). Hal ini dapat dilihat dengan adanya pergeseran bilangan gelombang pada serapan $3438,84 \text{ cm}^{-1}$ dan $1648,06 \text{ cm}^{-1}$, peningkatan intensitas spektra pada serapan $3438,84 \text{ cm}^{-1}$, adanya pengurangan puncak serapan pada serapan $3367,48 \text{ cm}^{-1}$ dan perubahan bentuk serapan pada bilangan gelombang antara $450\text{-}350 \text{ cm}^{-1}$. Secara kualitatif situs aktif yang terdapat pada biomassa adalah heterogen.
2. Model kinetika adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok secara kuantitatif dapat dijelaskan melalui model kinetika Langmuir pada tiap tahap laju yang linier. Pada tahap I nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ menit}^{-1}$, konstanta keseimbangan (K) = $287,35 \text{ (mol/L)}^{-1}$, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) = $14,119 \text{ kJ/mol}$, tahap II nilai konstanta laju adsorpsi (k) = $8 \cdot 10^{-4} \text{ menit}^{-1}$, konstanta keseimbangan (K) = $2381,4 \text{ (mol/L)}^{-1}$,

energi adsorpsi (ΔE_{ads}) = 19,394 kJ/mol dan tahap III nilai konstanta laju adsorpsi (k) = 4.10^{-5} menit⁻¹, konstanta keseimbangan (K) = 2602,1 (mol/L)⁻¹, energi adsorpsi (ΔE_{ads}) sebesar 19,615 kJ/mol. Secara kuantitatif, berdasarkan nilai energi adsorpsi dapat diketahui bahwa ikatan yang terjadi antara merkuri (II) dengan biomassa daun enceng gondok kebanyakan berikatan secara fisisorpsi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kandungan senyawa organik yang terdapat pada biomassa daun enceng gondok dalam kaitannya dengan adsorpsi merkuri (II) .
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses desorpsi untuk mengetahui mekanisme adsorpsi merkuri (II) pada biomassa daun enceng gondok.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, W.A, 1990, *Physical Chemistry of Surface*, New York: John Wiley and Sons. Inc
- Al-Ayubi, M.C, 2008, *Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri pada Biomassa Daun Enceng Gondok*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Malang
- Alfian, Z, 2006, *Merkuri Antara Manfaat dan Efek Penggunaannya Bagi Kesehatan Manusia dan Lingkungannya*, Medan: Universitas Sumatera Utara Repository
- Andreas, Roy dkk, 2006, *Karakteristik Adsorpsi Tembaga (II) pada Humin dalam Medium Air Tawar*, Jurnal Kimia Indonesia
- Anonymous, 2007, *Pencemaran Merkuri dari Darat ke Laut*, <http://kompas.com/kompas-cetak/0412/02/bahari/1412383.htm>, diakses tanggal 3 Desember 2007
- Anonymous, 2008, http://www.warintek.ristek.go.id/pangan_kesehatan/tanaman_obat/depkes/4-033.pdf, diakses tanggal 2 Januari 2008
- Arisandi, 2004, *Standar Kualitas Air*. http://www.air.bappenas.go.id/modules/doc/pdf_download.php?prm_download_id=627&sbf=9&prm_download_table=2, diakses tanggal 13 November 2007
- Atkins, P.W, 1999, *Kimia Fisika Edisi keempat Jilid 2*, Terjemahan Irma I. Kartohadiprodjo, Jakarta: Erlangga
- Brij, D dan K.P., Sarma, 1981, *Water Hyacinth (Eichornia crassipes Mart. Solm.) the Most Trouble Oweed on the World*, India: Hindiasia Publisher
- Brisdon, A.K, 1998, *Inorganic Spectroscopic Methods*, New York: Oxford University Press Inc
- Budiono, A, 2003, *Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air*, Makalah Pengantar Falsafah Sains, Bogor: Institut Pertanian Bogor

- Ebadian, Allen, M dan Cai, Y, *Mercury Contaminated Material Decontamination Methods: Investigation and Assessment*, New York: Florida International University
- Effendi, 2006, *Teori VSEPR, Kepolaran dan Gaya Antarmolekuler Edisi 2 Cetakan Pertama*, Malang: Bayu Media
- Gasser, R.P.H, 1985, *Introduction to Chemisorption and Catalysis by Metal*, London: Oxford Science Publication
- Glasstone, Samuer., Keith. J. Laider dan Henry Eyring, 1941, *The Kinetic of Chemical Reaction, Viscosity, Diffusion and Electrochemical Phenomena*, New York and London: Mc Graw-Hill Book Company, Inc
- Gupta, G.S., Prasad, G., Panday, K.K., dan Singh, V.N, 1988, *Removal of Chrom Dyes from Aqueous Solution by Fly Ash*, J. Water and Soil Pollution
- Hayati, E.K, 2007, *Dasar - Dasar Analisis Spektroskopi*, Malang: Kantor Jaminan Mutu Universitas Islam Negeri Malang
- Kaye, G.W dan T.H. Laby, 1973, *Tables of Physical and Chemical Constans*, London and New York: Longman
- Keenan, C.W, dkk, 1984, *Ilmu Kimia untuk Universitas Edisi keenam Jilid*, Terjemahan Aloysius Hadyana Pudjaatmaka, Jakarta: Erlangga
- Khalifah, S.N, 2008, *Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri pada Biomassa Daun Enceng Gondok yang Diimobilisasi pada Matriks Polisilikat*, Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Malang
- Kirk-Othmer, 1981, *Encyclopedia Of Chemical Technology, 3rd Ed., Vol. 24*, New York: John Wiley And Sons
- 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

- Listianti, W, 2004, *Studi Interaksi antara Humin dengan Nikel (II) dan Magnesium (II) dalam Medium Air*, Tesis Kimia Tidak Diterbitkan, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Moenandir, J, 1996, *Pengendalian Gulma (Ilmu Gulma- Buku 1) Universitas Brawijaya*, Jakarta: Rajawali Pers
- Oscik, J, 1982, *Adsorption*, New York: John Wiley and Sons
- Palar, H, 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Jakarta: Rineka Cipta
- Parker, S.P, 1993, *Encyclopedia of Chemistry, Second Edition*, New York: Mc Graw-Hill Book Company
- Pasya, A.F, 2004, *Dimensi Sains Al-Qur'an Menggali Ilmu Pengetahuan dari Al-Qur'an*, Solo: Tiga Serangkai
- Ratna, A.Y.D, 2006, *Karakterisasi Adsorpsi Timbal (II) Pada Adsorben Kitosan-Alumina*, Skripsi Kimia Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya
- Raya, I., Narsito dan Bambang, R, 2002, *Kinetika Adsorpsi Ion Logam Aluminium (III) dan Kromium (III) oleh Biomassa chaetoceros calcitrans yang Terimobilisasi pada Silika Gel*, Jurnal Kimia Indonesia.
- Saleh, N, 2004, *Studi Interaksi Antara Humin Dan Logam Cu (II) Dan Cr (II) Dalam Medium Air*, Tesis Kimia Tidak Diterbitkan, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- 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
- Sastrohamidjojo, H, 1992, *Spektroskopi Inframerah*, Yogyakarta: Liberty
- Sawyer. C.N. dan Mc Carty, P. L, 1987, *Chemistry For Engeeneering, 3rd ed*, New York: Mc Graw- Hill Book Company
- Setiawan, H, 2005, *Adsorpsi Kromium (III) dalam Larutan oleh Biomassa Akar Rumput Gajah*, Skripsi Kimia Tidak Diterbitkan, Malang: Universitas Brawijaya

- Shofia, F, 2006, *Pengaruh pH larutan dan Lama Pengocokan terhadap Adsorpsi Timbal (II) oleh Biomassa Daun Rumpun Gajah*, Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Universitas Brawijaya
- Socrates, 1994, *Infrared Characteristic Group Frequencies Tables and Charts Second Edition*, New York: John Wiley and Sons
- Sudarmaji, 2001, *Kadar Mercury (Hg) dalam Kupang dan Hubungannya dengan Kadar Mercury (Hg) dalam Darah Konsumen Pengonsumsi Kupang di Pantai Kenjeran Surabaya*, Surabaya: Universitas Airlangga
- Sugiyarto, K.H, 2003, *Kimia Anorganik II*, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Suheryanto, 2001, *Spesiasi Metal Merkuri dan Merkuri Anorganik di Perairan Sungai Musi dengan Metode Ekstraksi dan CV-AAS*, Jurnal Kimia Lingkungan
- Sulaiman, W, 2004, *Analisis Regresi Menggunakan SPSS Contoh Kasus dan Pemecahannya*, Yogyakarta: Penerbit Andi
- Supriyanto, H., dan Muladi, S, 1999, *Kajian Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Industri dan Penyelamatan Lingkungan Hidup di Daerah Perairan*, Samarinda: Fakultas Kehutanan Mulawarman
- Underwood, A.L dan Day, R.A, 2002, *Analisis Kimia Kuantitatif*, Terjemahan Iis Sopyan. Jakarta: Erlangga
- Weber, Jr.W.J, 1977, *Physics Chemical Process for Water Quality Control*, New York: John Wiley Interscience
- Widjanarko, S.B, 1996, *Analisa Hasil Pertanian*, Malang: Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Brawijaya

LAMPIRAN

Lampiran 1. Preparasi Larutan

L.1 .1 Perhitungan Preparasi Larutan

L.1.1.1. Larutan HCl 0,01 M

Untuk membuat larutan HCl 0,01 M sebanyak 500 ml adalah:

$$\begin{aligned}\text{mol HCl (n)} &= m \times V \\ &= 0,01 \text{ M} \times 0,5 \text{ l} \\ &= 0,005 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HCl} &= n \times \text{Mr} \\ &= 0,005 \text{ mol} \times 36,46 \text{ g/mol} \\ &= 0,1823 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HCl} = \frac{\text{massa}}{\% \text{ xbj}} = \frac{0,1823}{0,37 \times 1,19} = 0,4 \text{ ml}$$

L.1.1.2 Larutan HNO₃ 1 M

Untuk membuat larutan HNO₃ 1 M sebanyak 500 ml adalah:

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

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

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{massa}}{\% \text{ xbj}} = \frac{31,5}{0,65 \times 1,4} = 34,62 \text{ ml}$$

L.1.1.3 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.1.1.4 Larutan Baku Hg (II) 1000 ppm (mg/l)

Untuk membuat larutan Hg (II) sebanyak 1000 ml dari HgCl₂ adalah :

$$\begin{aligned} \text{Massa HgCl}_2 &= \frac{Mr_{\text{HgCl}_2}}{Ar_{\text{Hg}}} \times \text{Massa Hg} \\ &= \frac{271,50}{200,59} \times 1000 \text{ mg} \\ &= 1353,50 \text{ mg} \\ &= 1,35 \text{ gram} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 1000 \text{ ppm} \times V_1 &= 100 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml} \\ V_1 &= 10 \text{ ml} \end{aligned}$$

L.1.2 Pembuatan Larutan

L.1.2.1 Larutan HCl 0,01 M

HCl pekat (37 %, bj = 1,19 g/ml) dipipet 0,4 ml dan dimasukkan dalam labu takar 500 ml yang telah diisi aquademin seperempat bagian, kemudian diencerkan dengan aquademin sampai tanda batas.

L.1.2.2 Larutan HNO₃ 1 M

HNO₃ pekat (65 %, bj= 1,4 g/ml) dipipet 34,62 ml dan dimasukkan dalam labu takar 500 ml yang telah diisi aquademin seperempat bagian, kemudian diencerkan dengan aquademin sampai tanda batas

L.1.2.3 Larutan NaOH 1 M

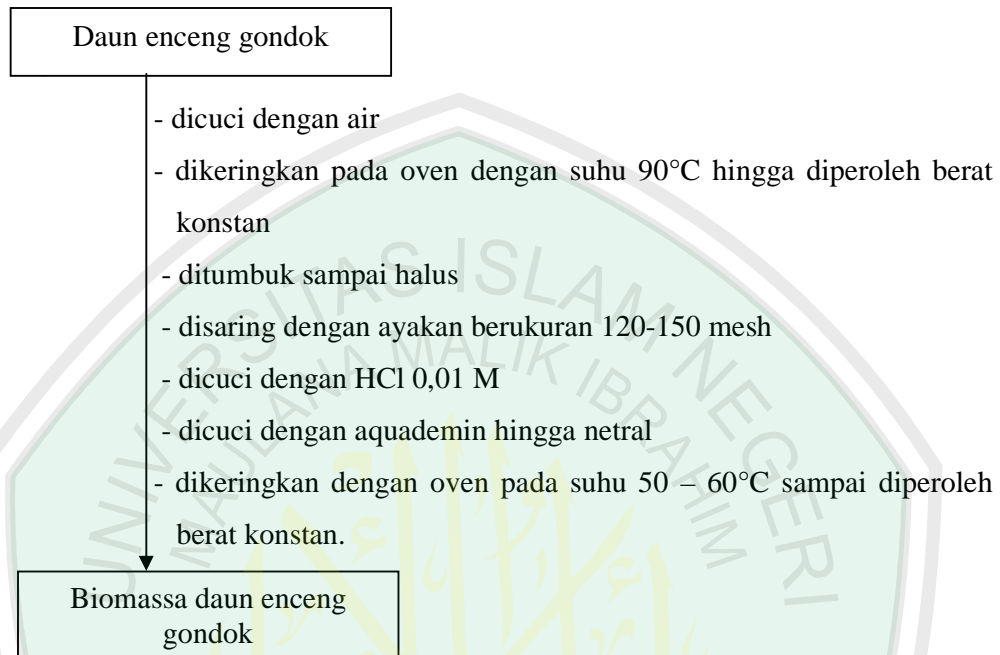
NaOH ditimbang 20 gram dalam gelas beaker, dilarutkan dalam labu takar 500 ml, kemudian diencerkan dengan aquademin sampai tanda batas.

L.1.2.4 Larutan Baku Hg (II) 1000 ppm (mg/l)

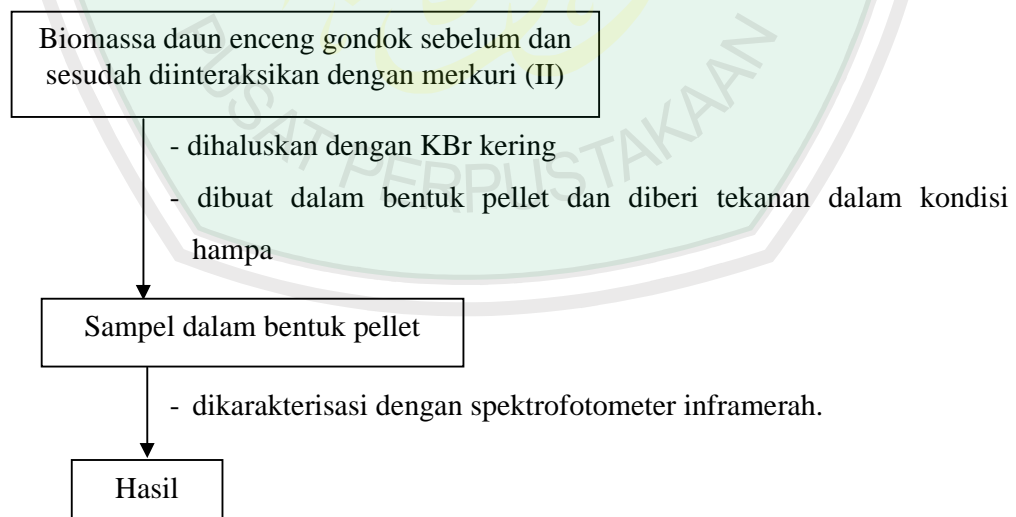
HgCl₂ ditimbang sebanyak 1,35 gram dalam gelas beaker, kemudian dilarutkan dalam labu takar 1000 ml, kemudian diencerkan dengan larutan HNO₃ 1 M sampai tanda batas.

Lampiran 2. Skema Kerja

L.2.1 Persiapan Biomassa Daun Enceng Gondok



L.2.2 Karakterisasi Biomassa Daun Enceng Gondok



L2.3 Model Kinetika Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok melalui Pendekatan Variasi Waktu Kontak

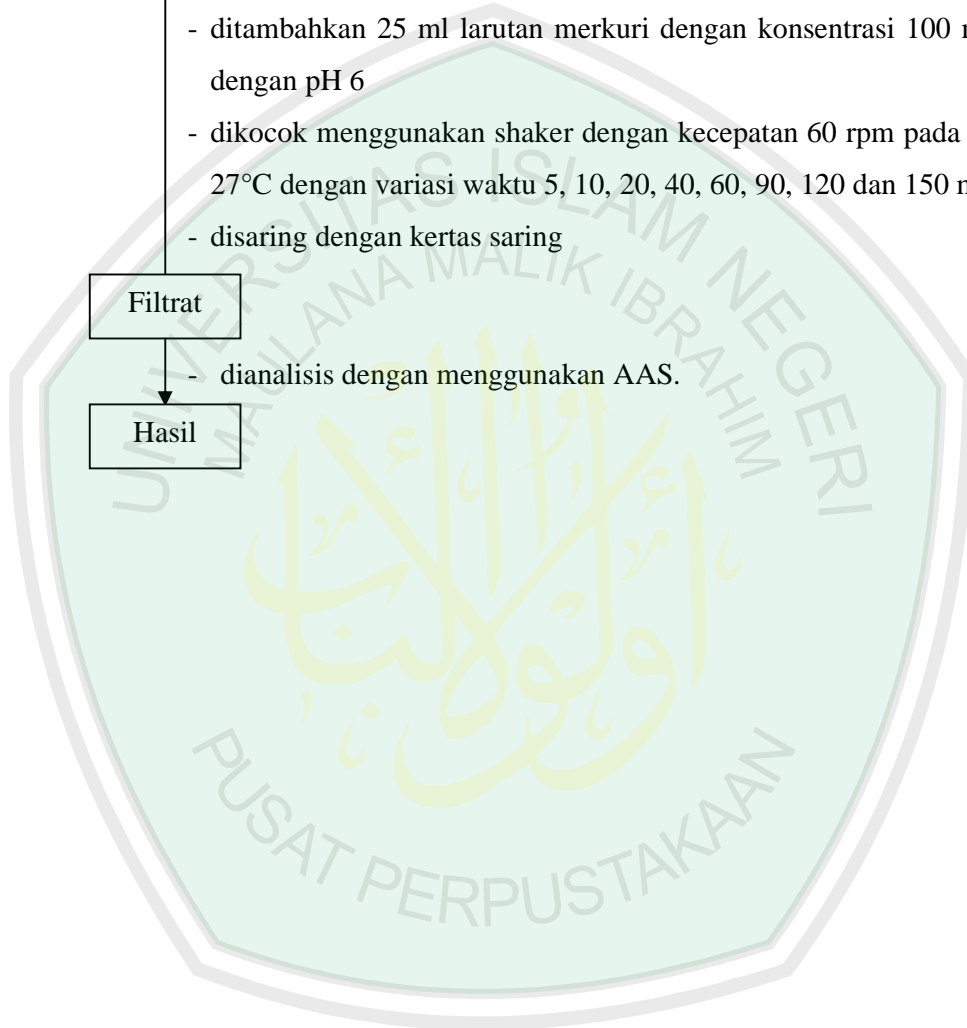
0,1 gram biomassa daun enceng gondok

- dimasukkan ke dalam elemeyer 100 ml
- ditambahkan 25 ml larutan merkuri dengan konsentrasi 100 mg/L dengan pH 6
- dikocok menggunakan shaker dengan kecepatan 60 rpm pada suhu 27°C dengan variasi waktu 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 dan 150 menit
- disaring dengan kertas saring

Filtrat

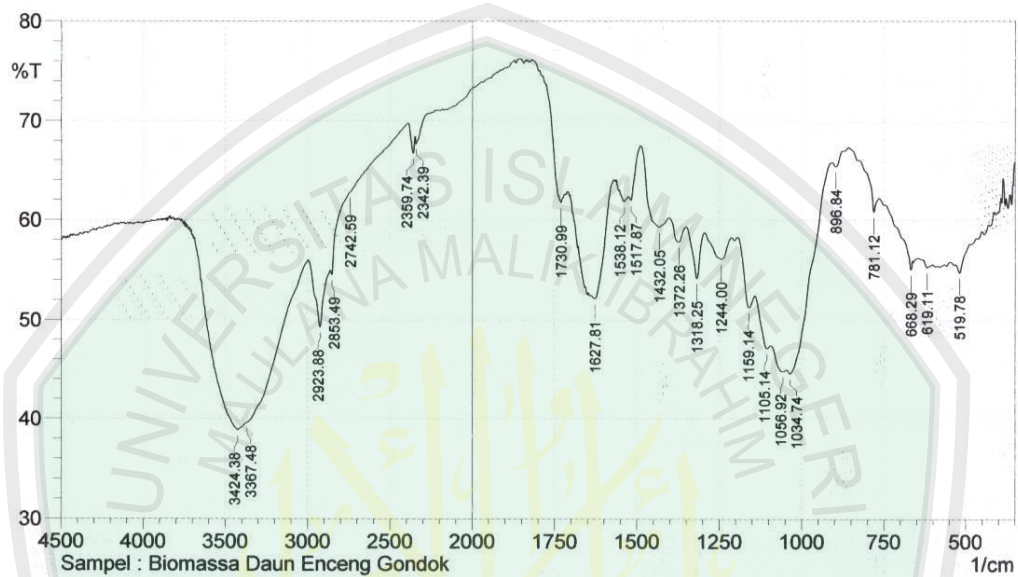
- dianalisis dengan menggunakan AAS.

Hasil



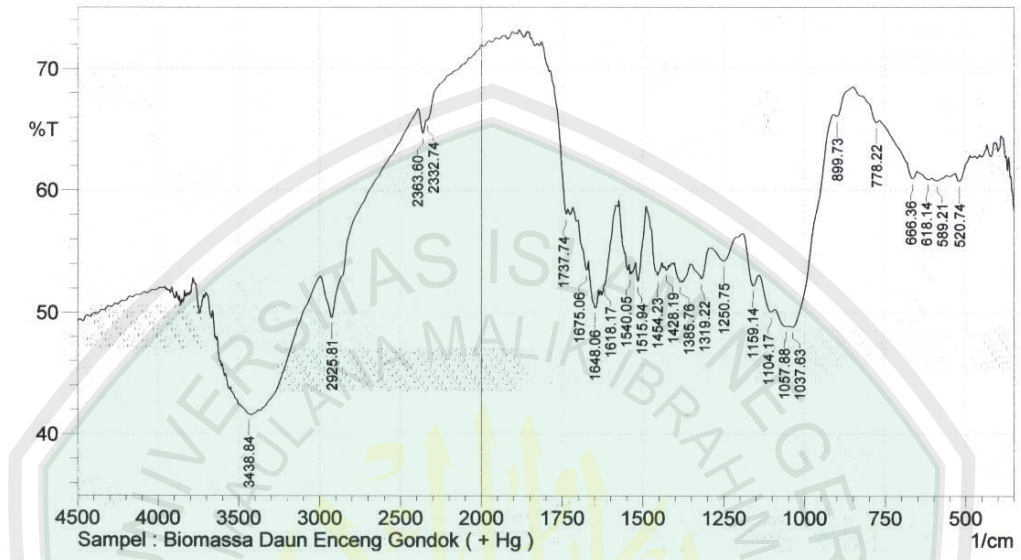
Lampiran 3. Spektra FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok Sebelum dan Sesudah diinteraksikan Merkuri (II)

L.3.1. Spektra FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok Sebelum diinteraksikan Merkuri (II)



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	519.78	54.747	1.386	531.35	487.96	10.897	0.171
2	619.11	55.292	0.35	634.54	612.36	5.645	0.02
3	668.29	55.079	1.226	746.4	663.47	19.194	-0.002
4	781.12	60.801	2.349	826.44	765.69	11.907	0.16
5	896.84	65.368	0.793	907.45	873.69	6.089	0.082
6	1034.74	44.557	2.011	1045.35	907.45	37.196	0.725
7	1056.92	44.804	0.752	1093.56	1045.35	16.421	0.241
8	1105.14	47.141	1.494	1141.78	1093.56	14.909	0.344
9	1159.14	51.273	3.168	1192.89	1141.78	13.767	0.617
10	1244	56.113	2.332	1294.15	1212.18	19.897	0.811
11	1318.25	54.183	4.817	1351.04	1294.15	13.872	0.853
12	1372.26	57.809	1.903	1402.15	1351.04	11.78	0.363
13	1432.05	59.281	3.428	1489.91	1402.15	18.669	1.517
14	1517.87	61.971	1.485	1525.59	1489.91	6.797	0.089
15	1538.12	61.842	0.611	1548.73	1525.59	4.786	0.053
16	1627.81	52.158	0.471	1629.74	1569.95	14.312	0.105
17	1730.99	61.736	0.331	1733.89	1727.14	1.406	0.008
18	2342.39	67.629	1.06	2349.14	2282.6	10.688	0.186
19	2359.74	66.698	2.119	2388.67	2349.14	6.623	0.279
20	2742.59	62.769	0.06	2745.48	2388.67	63.416	0.006
21	2853.49	54.543	1.088	2863.13	2745.48	26.192	-0.98
22	2923.88	49.242	6.215	2996.21	2863.13	36.837	2.807
23	3367.48	39.597	0.139	3370.37	2996.21	122.493	1.42
24	3424.38	38.84	0.201	3437.88	3415.7	9.081	0.025

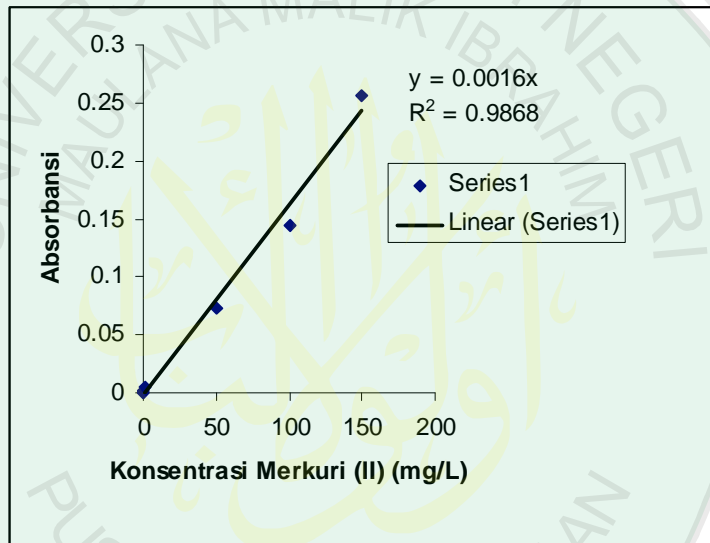
L.3.1. Spektra FTIR Biomassa Daun Enceng Gondok Sesudah diinteraksikan Merkuri (II)



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	520.74	60.719	1.063	533.28	486.99	9.756	0.183
2	589.21	60.767	0.05	592.11	583.43	1.876	0.002
3	618.14	60.868	0.041	649	616.21	7	0
4	666.36	60.946	0.972	684.68	651.89	6.955	0.14
5	778.22	65.574	0.513	849.58	768.58	14.029	0
6	899.73	66.086	0.517	909.37	849.58	10.25	-0.01
7	1037.63	48.844	1.63	1050.17	909.37	35.67	1.225
8	1057.88	48.901	0.281	1092.6	1050.17	13.008	0.093
9	1104.17	50.086	0.897	1140.82	1092.6	14.046	0.23
10	1159.14	52.239	2.095	1191.93	1140.82	13.771	0.414
11	1250.75	54.263	1.471	1288.36	1209.28	20.522	0.458
12	1319.22	52.796	1.859	1347.19	1292.22	14.815	0.386
13	1385.76	52.563	0.104	1390.58	1383.83	1.88	0.003
14	1428.19	53.498	0.37	1434.94	1420.48	3.911	0.025
15	1454.23	53.057	0.329	1457.12	1448.44	2.374	0.01
16	1515.94	52.589	2.615	1523.66	1490.87	8.563	0.4
17	1540.05	53.186	0.509	1542.95	1537.16	1.575	0.013
18	1618.17	52.328	0.214	1619.13	1584.41	8.884	-0.003
19	1648.06	50.413	0.174	1669.28	1647.1	6.352	0.109
20	1675.06	53.512	1.076	1685.67	1669.28	4.379	0.087
21	1737.74	58.049	1.411	1787.89	1732.92	10.596	-0.09
22	2332.74	65.754	0.197	2339.49	2074.3	42.661	-1.23
23	2363.6	64.641	1.587	2392.53	2339.49	9.735	0.257
24	2925.81	49.586	5.008	2996.21	2392.53	139.344	3.047
25	3438.84	41.647	0.057	3488.02	3435.95	19.634	0.024

Lampiran 4. Data Larutan Standar Merkuri (II)

Konsentrasi Hg^{2+} (mg/L)	Absorbansi
0,5	0,001
1	0,0051
50	0,0723
100	0,1439
150	0,2569



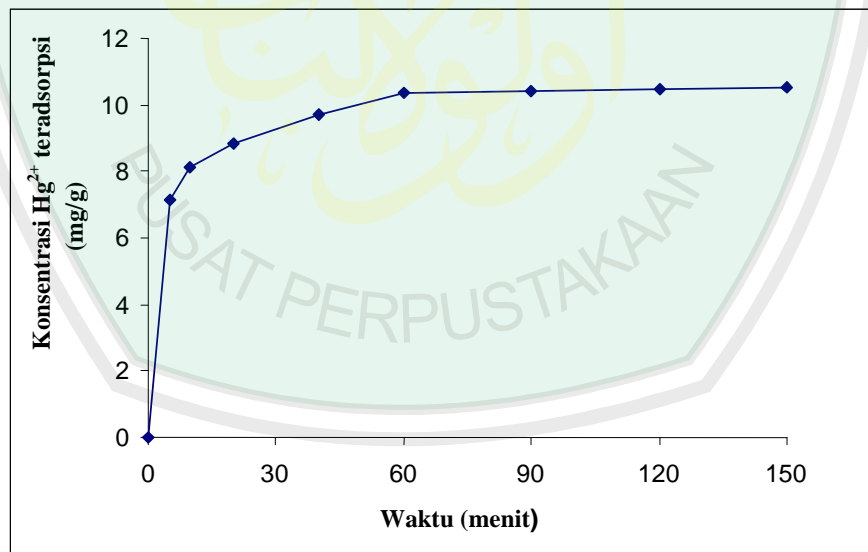
Lampiran 5. Data Pengaruh Waktu Interaksi terhadap Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok

Waktu menit	C ₀ mg/L	C _A mg/L	C ₀ -C _A		
			mg/L	mg/g	10 ⁻³ mol/g
5	99,313	70,625	28,688	7,172	0,035755
10	99,313	66,813	32,500	8,125	0,040505
20	99,313	64,000	35,313	8,828	0,044010
40	99,313	60,563	38,750	9,688	0,048295
60	99,313	57,813	41,500	10,375	0,051722
90	99,313	57,75	41,563	10,391	0,051802
120	99,313	57,313	42,000	10,500	0,052346
150	99,313	57,125	42,188	10,547	0,052579

C₀ = Konsentrasi awal

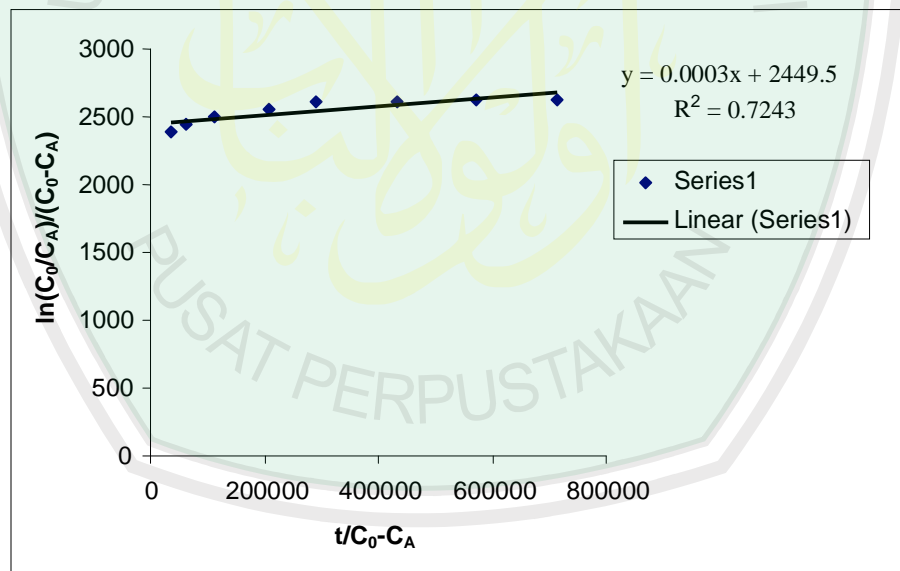
C_A = Konsentrasi sisa

C₀-C_A = Konsentrasi teradsorpsi



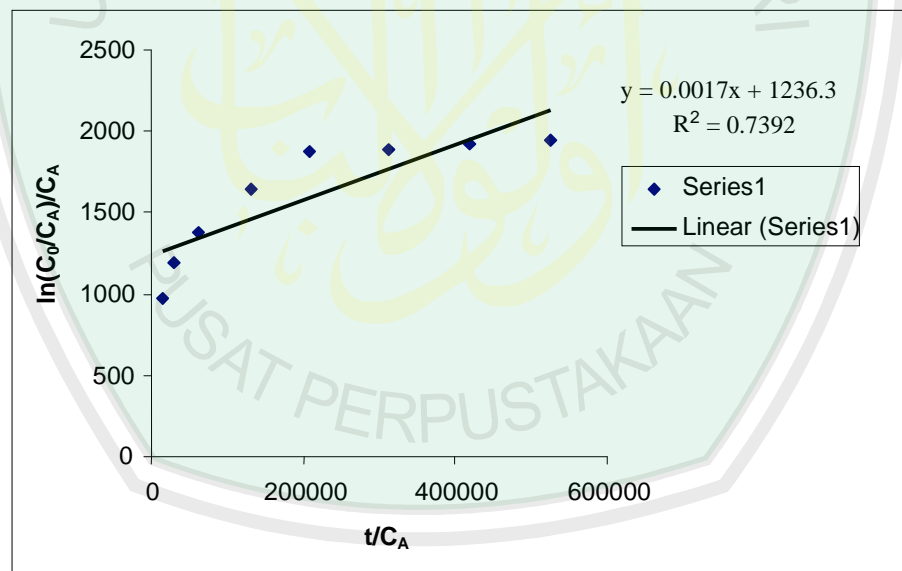
Lampiran 6. Perhitungan Konstanta Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi (K) untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok menggunakan Model Kinetika Langmuir

waktu (menit)	Co (mol/Lx10 ⁻⁴)	CA (mol/Lx10 ⁻⁴)	Co/CA	ln Co/CA	Co-CA (mol/Lx 10 ⁻⁴)	t/Co-CA (menit.L/mol)	ln(Co/CA)/(Co-CA) (L/mol)
5	4,951	3,521	1,406	0,341	1,43	34965,035	2384,615
10	4,951	3,331	1,486	0,396	1,62	61728,395	2444,444
20	4,951	3,191	1,552	0,440	1,761	113571,834	2498,580
40	4,951	3,019	1,640	0,495	1,932	207039,338	2562,112
60	4,951	2,882	1,718	0,541	2,069	289995,167	2614,790
90	4,951	2,879	1,720	0,542	2,072	434362,934	2615,830
120	4,951	2,857	1,733	0,550	2,094	573065,903	2626,552
150	4,951	2,848	1,738	0,553	2,103	713266,762	2629,577



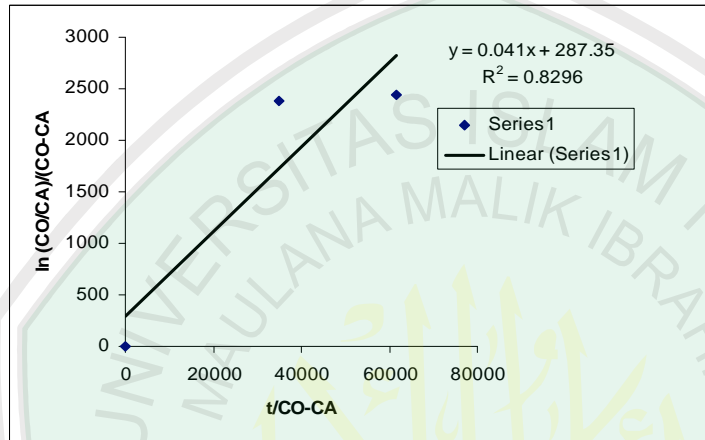
Lampiran 7. Perhitungan Konstanta Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi (K) untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok menggunakan Model Kinetika Langmuir-Hinshelwood-Santosa (LHS)

waktu (menit)	Co (mol/L) x 10 ⁷	C _A (mol/L) x 10 ⁻⁴	Co/C _A	ln Co/C _A	t/C _A (menit.L/mol)	ln (Co/C _A)/C _A (L/mol)
5	4,951	3,521	1,406	0,341	14200,511	968,475
10	4,951	3,331	1,486	0,396	30021,015	1188,832
20	4,951	3,191	1,552	0,440	62676,277	1378,878
40	4,951	3,019	1,640	0,495	132494,203	1639,616
60	4,951	2,882	1,718	0,541	208188,758	1877,169
90	4,951	2,879	1,720	0,542	312608,545	1882,598
120	4,951	2,857	1,733	0,550	420021,001	1925,096
150	4,951	2,848	1,738	0,553	526685,393	1941,714



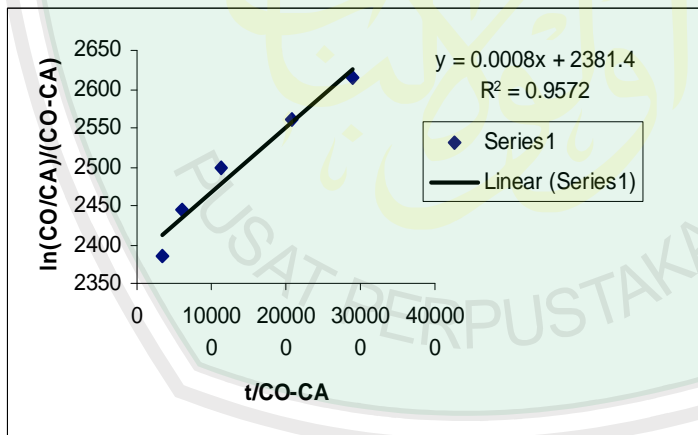
Lampiran 8. Perhitungan Konstanta Laju Adsorpsi (k) dan Konstanta Keseimbangan Adsorpsi (K) untuk Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok menggunakan Model Kinetika Sederhana dengan Analisa mengikuti Model Kinetika Langmuir

Tahap I (0-10 menit)



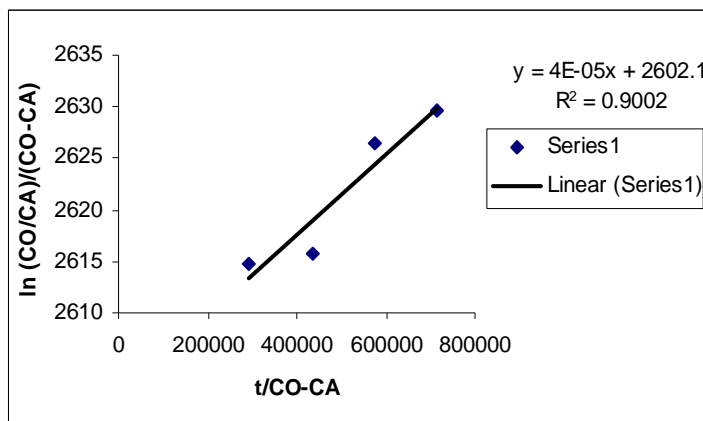
$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{ads}} &= R T \ln K \\ &= 8,314 \times 300 \times \ln 287,35 \\ &= 14,119 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Tahap II (5-60 menit)



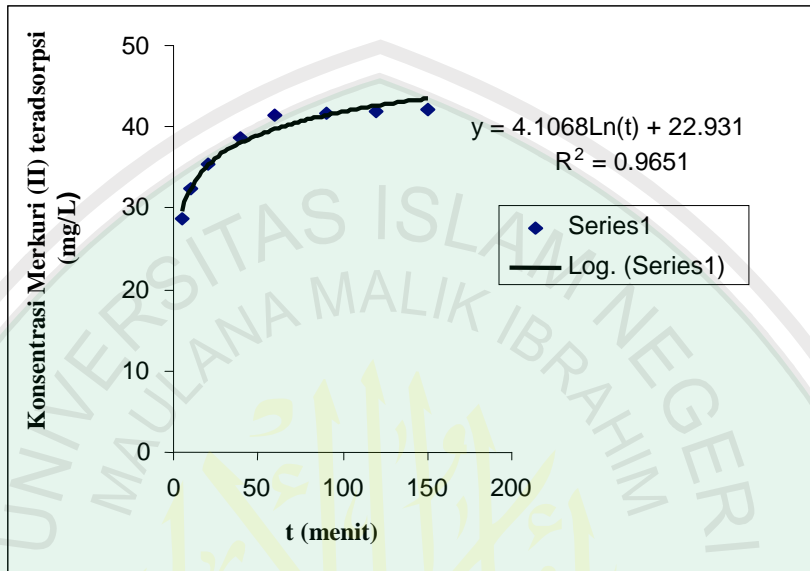
$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{ads}} &= R T \ln K \\ &= 8,314 \times 300 \times \ln 2381,4 \\ &= 19,394 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Tahap III (60-150 menit)



$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{ads}} &= R T \ln K \\ &= 8,314 \times 300 \times \ln 2602,1 \\ &= 19,615 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Lampiran 9. Fitting Kurva Hubungan antara Merkuri (II) teradsorpsi dengan Waktu



Lampiran 10. Gambar Daun dan Biomassa Daun Enceng Gondok



L.10.1 Gambar Daun Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)



L.10.2 Gambar Biomassa Daun Enceng Gondok