

**ADSORPSI MERKURI(II) OLEH BIOMASSA ENCENG GONDOK
(*Eichornia crassipes*) YANG DIIMMOBILISASI PADA Matriks
POLISILIKAT MENGGUNAKAN METODE KOLOM**

SKRIPSI

Oleh :

**KARTIKA KRYS TIYANTI
NIM. 03530011**



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

**ADSORPSI MERKURI(II) OLEH BIOMASSA ENCENG GONDOK
(*Eichornia Crassipes*) YANG DIIMMOBILISASI PADA Matriks
POLISILIKAT MENGGUNAKAN METODE KOLOM**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

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

Oleh:

**KARTIKA KRYSTIYANTI
NIM. 03530011**

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

2008

HALAMAN PERSETUJUAN

**ADSORPSI MERKURI(II) OLEH BIOMASSA ENCENG GONDOK
(*Eichornia Crassipes*) YANG DIIMMOBILISASI PADA Matriks
POLISILIKAT MENGGUNAKAN METODE KOLOM**

SKRIPSI

Oleh:

**KARTIKA KRYSITIYANTI
NIM. 03530011**

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama

Pembimbing Agama

**Himmatul Barroroh, M.Si
NIP. 150 327 246**

**Achmad Nashichuddin, MA
NIP. 150 302 531**

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

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

HALAMAN PENGESAHAN

**ADSORPSI MERKURI(II) OLEH BIOMASSA ENCENG GONDOK
(*Eichornia Crassipes*) YANG DIIMMOBILISASI PADA Matriks
POLISILIKAT MENGGUNAKAN METODE KOLOM**

SKRIPSI

Oleh:

**KARTIKA KRYSTIYANTI
NIM. 03530011**

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

Tanggal, **Juli 2008**

Susunan Dewan Penguji:

Tanda Tangan

- | | | |
|-----------------------|--|-----|
| 1. Penguji Utama | : <u>Rini Nafsiati Astuti, M.Pd</u>
NIP.150 327 252 | () |
| 2. Ketua Penguji | : <u>Akyunul Jannah, S.Si, M.P</u>
NIP. 150 368 798 | () |
| 3. Sekretaris Penguji | : <u>Himmatul Barroroh, M.Si</u>
NIP. 150 327 246 | () |
| 4. Anggota Penguji | : <u>Achmad Nashichuddin, MA</u>
NIP. 150 302 531 | () |

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

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

PERSEMBAHAN

Dengan Tulus Ku Persembahkan Karya Skripsi Ini Untuk:



Allah SWT. sujud syukurku selalu tercurahkan kepada-Nya, Sang Khalik yang telah memberikan kemampuan, kesempatan dan semangat.

Sang Revolusioner Akbar Rosulullah Muhammad saw. Pancaran cahaya suri tauladannya yang selalu terpatri di hati.

Kedua orang tuaku, Bapak Soetrino dan Ibu Sulistyanie yang senantiasa menjadi sumber energi dan atas cinta, kasih sayang, perhatian, kesabaran serta keikhlasannya.

Keluargaku dik. Novalia Kusuma Wardani & dik. Triea Puji Anggraini atas motivasinya dengan memberikan kesegaran dan hiburan.

Si imoet dik. M. Fairuz Zannabil Al-Fajri yang senyumnya membangkitkan semangat dan harapan.

Keluarga besarku atas sumber inspirasi dan doanya.

Saudara & sahabatku Andree atas semangat moral, spiritual dan diskusi-diskusi kecilnya.

Seseorang yang tak pernah lelah terus memasok energi dalam hidupku dengan menjadi mitra yang sejati.



Temen-temen Kimia angkatan 2003



Dewiq, Fara, A'yun, Susie, Ilil, Li2k M.K, Diah, Liva, Vida, Nila, Wawa, Ata', Atul, Rizki, Ika, Umi., Tamam, Nain, Ufik, Washil & Eichornia Crassipes Team

Thank's atas semangat dan diskusi kecilnya. Ingat "Jadilah seperti jeruk yang jika diperas menghasilkan sarinya. Bukan seperti tahu yang jika ditekan akan hancur".

Para Inspirator Intelekt atas transfer ilmu, kritik dan resolusinya.

MOTTO

قال رسول الله صلى الله عليه و سلم. كن عالما او متعلما او مستمعا او محبا ولا تكن خا مسا فتهلك (رواه البيهقي)

Rosulullah saw. bersabda : “ Jadilah kamu orang pandai, pelajar, pendengar, atau pencinta. Dan janganlah kamu menjadi orang kelima (pembenci) sebab kamu akan binasa.” (H.R. Al-Baihaqy)



KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya serta didorong oleh niat yang suci, sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul: **”Adsorpsi Merkuri(II) oleh Biomassa Enceng Gondok (*Eichornia crassipes*) yang diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat Menggunakan Metode Kolom”**, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si). Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Rosulullah saw. Sang revolusioner akbar yang telah merubah keadaan dengan menyingkap kabut tebal kejahilan, sehingga terbentang luas jalan lurus yang mengantarkan manusia kepada kehidupan bahagia baik di dunia dan di akhirat melalui agama ini, yaitu Islam.

Seiring dengan terselesaikannya penyusunan skripsi ini, tak lupa penulis sampaikan banyak terima kasih dan penghargaan yang tak terbatas kepada semua pihak yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran dan kritik konstruktif serta motivasi dalam proses penyusunannya, yaitu kepada:

1. Prof. Dr. H. Imam Suprayogo selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
2. Prof. Drs. Sutiman Bambang Sumitro, S.U., D. Sc selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.

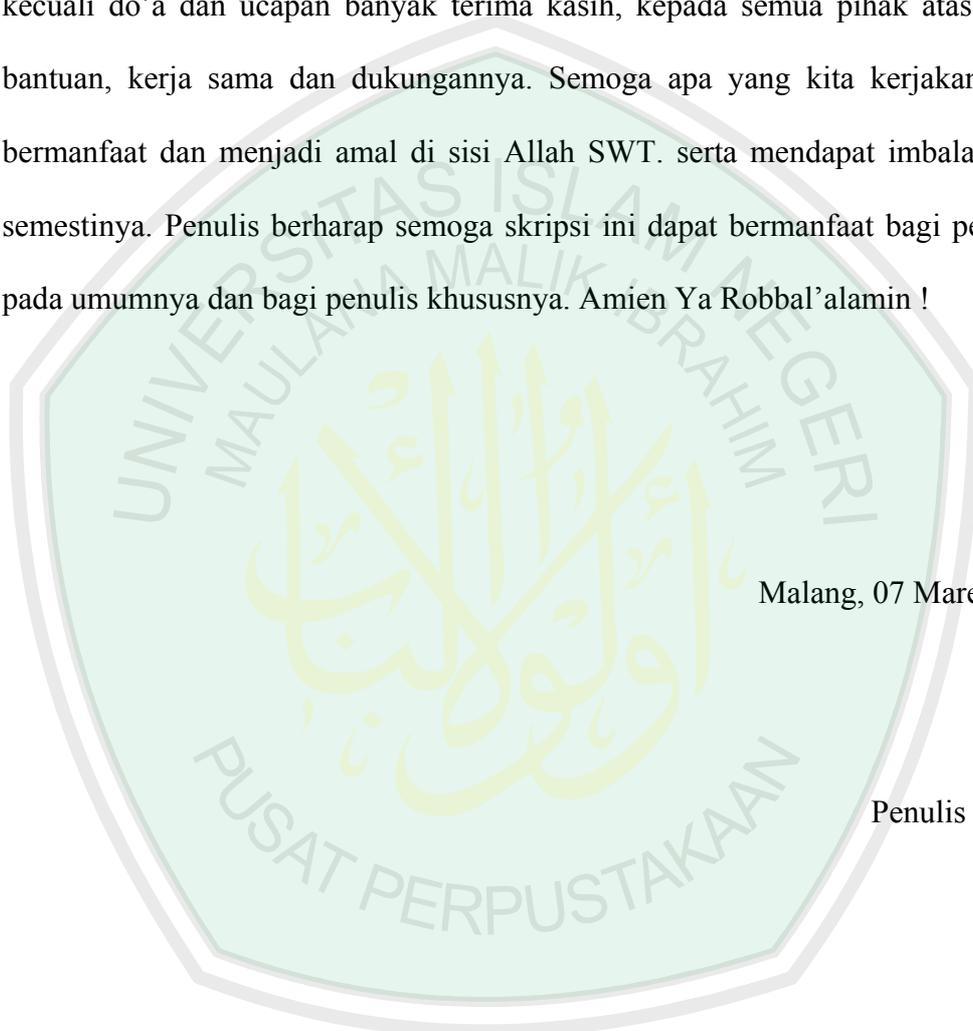
3. Diana Candra Dewi, M.Si selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
4. Himmatul Barroroh, M.Si sebagai dosen pembimbing utama, Achmad Nashichuddin, M.A sebagai pembimbing agama dan Diana Candra Dewi, M.Si sebagai konsultan yang dengan penuh kesabaran, ketelatenan dan keikhlasan di tengah-tengah kesibukannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan serta pengarahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Dewan penguji Rini Nafsiati Astuti, M.Pd dan Akyunul Jannah, M.P yang telah memberikan masukan, saran dan kritik konstruktif.
6. Semua Dosen serta staf pegawai kantor Jurusan Kimia, terima kasih atas segala bantuan dan fasilitasnya.
7. Kepala beserta pengelola laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
8. Kepala beserta pengelola laboratorium Kimia Fisika dan laboratorium Anorganik Universitas Brawijaya Malang.
9. Kedua orang tua dan keluarga besarku terima kasih atas doa, dukungan dan kesabarannya.
10. *Eichornia Crassipes Team* (Lilik, Rosie, Susi, & Aby) terima kasih atas kerja sama, motivasi, bantuan, pengorbanan dan fasilitasnya.
11. Teman-teman seperjuangan angkatan 2003 Kimia. Tanpa kalian hidupku hampa dan jalanku gersang di kampus ini. Ingatlah “Ketika kita berada dalam

badai, katakan pada diri sendiri inipun akan berlalu”. Jadikanlah kesulitan sebagai alat pengasah agar kita tampil lebih cemerlang.

Tiada kata dan ungkapan yang lebih berharga yang bisa penulis sampaikan kecuali do'a dan ucapan banyak terima kasih, kepada semua pihak atas segala bantuan, kerja sama dan dukungannya. Semoga apa yang kita kerjakan dapat bermanfaat dan menjadi amal di sisi Allah SWT. serta mendapat imbalan yang semestinya. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis khususnya. Amien Ya Robbal'alamin !

Malang, 07 Maret 2008

Penulis



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
2.1.	Jumlah Resin Untuk Mengemas Kolom Penukar Ion 50 cm.....	22



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
2.1.	Tumbuhan Enceng Gondok.....	14
2.2.	Reaksi Pembentukan Polimer Polisilikat.....	21
2.3.	Komponen Spektrofotometri Serapan Atom.....	28
4.1.	Struktur Asam Amino.....	50
4.2.	Grafik Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Dengan Variasi Konsentrasi.....	53
4.3.	Grafik Penentuan Perubahan Kapasitas Pertukaran Ion.....	57
4.4.	Grafik Persamaan Hubungan Antara Kapasitas Pertukaran Ion Dengan Proses Regenerasi.....	58
4.5.	Grafik Penentuan Laju Alir Optimum.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Preparasi Larutan.....	74
Lampiran 2.	Skema Kerja	78
Lampiran 3.	Perhitungan Kapasitas Pertukaran Ion Dan Perubahannya Oleh Biomassa Enceng Gondok Yang Terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat.....	86
Lampiran 4.	Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Oleh Biomassa Enceng Gondok Yang Terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat	88
Lampiran 5.	Perhitungan Penentuan Laju Alir Optimum Adsorpsi Merkuri(II) Oleh Biomassa Enceng Gondok Yang Terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat.....	90
Lampiran 6.	Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Menggunakan Metode Kolom Dan Batch	92
Lampiran 7.	Gambar Daun Enceng Gondok, Biomassa Daun Enceng Gondok, Biomassa Daun Enceng Gondok yang Teriimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dalam Keadaan Basah dan Kering.....	93

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.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat	7
1.5 Batasan Masalah	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Logam Berat	8
2.2 Merkuri	9
2.2.1 Merkuri(II)	10
2.3 Toksisitas Merkuri	11
2.3.1 Merkuri(II) Klorida	12
2.4 Enceng Gondok	13
2.5 Adsorpsi Logam Oleh Biomassa	14
2.6 Adsorpsi	16
2.6.1 Adsorpsi Fisika Dan Kimia	17
2.6.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi	18
2.7 Immobilisasi Biomassa Pada Matriks Polisilikat	20
2.8 Kolom	21
2.9 Resin Penukar Ion.....	23
2.9.1 Kapasitas Pertukaran Ion.....	25
2.9.2 Regenerasi	26
2.10 Spektroskopi Serapan Atom.....	27
2.11 Menjaga Dan Memelihara Keseimbangan Alam Dalam Pandangan Islam.....	29

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Dan Rancangan Penelitian.....	35
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	35
3.3 Bahan-bahan	35
3.4 Alat	35
3.5 Tahapan Penelitian.....	36
3.6 Cara Kerja	37
3.7 Analisis Data.....	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Biomassa Enceng Gondok Yang Diimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat.....	46
4.2 Penentuan Kapasitas Pertukaran Ion	48
4.3 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Oleh Biomassa Enceng Gondok Yang Terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat Dengan Metode Kolom	52
4.4 Penentuan Perubahan Kapasitas Pertukaran Ion Terhadap Regenerasi	55
4.5 Penentuan Laju Alir Optimum Pada Adsorpsi Merkuri(II) Oleh Biomassa Enceng Gondok Yang Terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat dengan Metode Kolom	59
4.6 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Menggunakan Metode Kolom Dan Batch	61
4.7 Pemanfaatan Biomassa Tumbuhan Daun Enceng Gondok Sebagai Adsorben Dalam Upaya Pelestarian Lingkungan Hidup	63

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran	69

DAFTAR PUSTAKA.....	70
----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	74
----------------------	-----------

ABSTRAK

Krystiyanti, Kartika. 2008. **Adsorpsi Merkuri(II) Oleh Biomassa Enceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Yang Diimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat Menggunakan Metode Kolom**. Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.

Pembimbing Utama : Himmatul Barroroh, M.Si,
Pembimbing Agama : Achmad Nashichuddin, MA.

Sistem adsorpsi dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu: metode *kolom* dan metode *batch*. Metode kolom dipandang lebih efektif karena kolom yang sudah digunakan dapat diregenerasi kembali. Biomassa mempunyai kelemahan karena mudah terdegradasi oleh mikroba dan akan menggumpal ketika dikemas di dalam kolom, sehingga perlu dilakukan immobilisasi biomassa enceng gondok pada matriks polisilikat.

Penelitian ini difokuskan pada penentuan kapasitas pertukaran ion dan perubahannya, dengan dilakukan regenerasi sebanyak 7 kali menggunakan larutan NaCl jenuh. Penentuan kapasitas adsorpsi merkuri(II) dengan variasi konsentrasi 25, 50, 75, 100, 125 dan 150 mg/L pada pH optimum 6 dan laju alir 3 mL/menit dengan metode kolom. Penentuan laju alir optimum dengan variasi laju alir 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 mL/menit pada pH 6 dan konsentrasi optimum 100 mg/L. Penentuan kapasitas adsorpsi merkuri(II) menggunakan metode kolom dan batch pada konsentrasi 20 mg/L dengan laju alir 2 mL/menit dan waktu pengocokan 50 menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa enceng gondok mampu mengadsorpsi logam merkuri(II) melalui mekanisme pertukaran ion. Kapasitas pertukaran ion yang diperoleh sebesar 13,75 mmol per gram adsorben, dengan menggunakan ion Na^+ yang dapat dipertukarkan dengan ion H^+ . Kapasitas pertukaran ion mengalami penurunan setelah diregenerasi sebanyak 7 kali dengan mengikuti persamaan $y = 13,27e^{-0,2723x}$, y adalah kapasitas pertukaran ion dan x adalah jumlah regenerasi. Kapasitas adsorpsi Hg^{2+} optimum sebesar 9,0937 mg/g, sedangkan laju alir optimumnya adalah 3 mL/menit. Adsorpsi merkuri(II) menggunakan metode kolom lebih baik dari pada metode batch dengan nilai kapasitas adsorpsi metode kolom sebesar 3,9375 mg/g dan metode batch sebesar 1,775 mg/g, artinya kapasitas adsorpsi metode kolom 2 kali lebih besar dari pada metode batch.

Kata kunci : Adsorpsi, Merkuri(II), Biomassa, Enceng Gondok (*Eichornia crassipes*), Immobilisasi, Matriks Polisilikat, Metode Kolom.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan suatu makhluk hidup tidak terlepas dari media dimana mereka tinggal, yaitu lingkungan. Terjadinya perubahan dalam tatanan lingkungan, sehingga tidak sama lagi dengan bentuk asalnya sebagai akibat dari masuknya suatu zat atau benda asing, maka lingkungan tersebut dikatakan tercemar. Faktor utama penyebab tercemarnya suatu tatanan lingkungan adalah kontrol yang hampir tidak pernah dilakukan terhadap limbah industri.

Pencemaran yang dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan biasanya berasal dari limbah-limbah yang berbahaya, artinya memiliki toksisitas yang tinggi. Limbah yang sangat beracun pada umumnya merupakan limbah kimia, dan khususnya senyawa kimia yang mempunyai bahan aktif dari logam-logam berat. Toksisitas yang dimiliki oleh bahan aktif dari logam berat, akan menghalangi kerja enzim dalam proses fisiologis atau metabolisme tubuh sehingga proses metabolisme terputus. Logam berat juga dapat terakumulasi di dalam tubuh yang dapat menyebabkan problem keracunan kronis (Palar, 1994).

Buangan industri dan pemanfaatan hasil industri merupakan penyebab utama dari kasus-kasus keracunan logam berat. Salah satu contohnya adalah terjadinya peningkatan kadar merkuri (Hg) di perairan Teluk Jakarta pada tahun 1983, yang menunjukkan bahwa kadar merkuri telah mencapai 0,027 ppm. Tercatat satu orang telah meninggal dan beberapa orang lainnya mengalami

kelumpuhan dan lidah kelu. Penyakit tersebut nyaris sama dengan penyakit yang muncul di Teluk Minamata di Jepang pada tahun 1950-1960, akibat dari limbah merkuri yang dihasilkan dari pabrik pupuk kimia *Chisso Co Ltd.* (Palar, 1994). Hasil penelitian selama periode 1953-1960 menyebutkan bahwa, makanan laut yang berasal dari Teluk Minamata mengandung merkuri 5-20 ppm dan tercatat 111 orang menjadi korban keracunan, dengan 43 orang meninggal dunia (Manahan, 1992).

Merkuri merupakan logam berat yang secara alami terdapat di alam, meskipun dalam kadar yang sangat rendah. Unsur ini banyak digunakan dalam bidang industri karena merkuri merupakan logam yang berbentuk cair pada suhu kamar (25°C), mempunyai kecenderungan menguap lebih besar, serta memiliki konduktivitas listrik yang tinggi (Manahan, 1992), tetapi sangat berpotensi sebagai polutan dengan toksisitas yang tinggi.

Merkuri banyak digunakan dalam dunia kesehatan gigi, juga sebagai salah satu komponen baterai, termometer, barometer, insektisida, lampu, cermin perak, katalis, sakelar merkuri, dan cermin cair pada teleskop. Merkuri juga sering dipakai dalam proses penambangan logam (Martaningtyas, 2006).

Penumpukan limbah merkuri, baik yang berasal dari pertambangan maupun industri kimia yang lain, mampu meningkatkan jumlah merkuri yang terpapar di alam. Pada kondisi pembuangan limbah pertambangan yang berbentuk lumpur juga mampu meningkatkan kemungkinan terbentuknya senyawa merkuri yang berbahaya (Martaningtyas, 2006). Toksisitas yang dimiliki merkuri akan menghalangi kerja enzim serta merusak selaput dinding (membran) sel.

Kerusakan yang diakibatkan oleh logam merkuri dalam tubuh umumnya bersifat permanen (Palar, 1994).

Berdasarkan fenomena di atas, maka buangan limbah industri yang salah satunya mengandung logam berat merkuri sangat perlu untuk dilakukan suatu penanganan, agar tidak menjadi pencemar ketika dibuang ke lingkungan. Usaha tersebut merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan oleh manusia, sebagai makhluk Tuhan untuk menjaga kelestarian lingkungan.

Manusia merupakan salah satu diantara unsur-unsur lingkungan hidup yang mempunyai posisi sentral dan dominan, artinya manusia memiliki kelebihan dibandingkan makhluk yang lain, yaitu akal sebagai anugerah Tuhan. Manusia diberi kesempatan dan kemampuan melalui akal tersebut, untuk melakukan pengamatan (observasi), memikirkan dan mengadakan penelitian serta kajian terhadap fenomena-fenomena alam, sebagai wujud kemahakuasaan dan keagungan Tuhan yang menciptakannya (Gani dan Umam, 1986). Allah berfirman dalam Al-Qur'an surat Al-Jaatsiyah ayat 13:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُۥٓ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَاٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ



“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”.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa sesungguhnya Allah memerintahkan kepada manusia agar mereka selalu menggunakan akal untuk berpikir. Orang-

orang yang berpikir, ialah mereka yang mau memperhatikan dan menyelidiki kejadian langit dan bumi (alam) (Jauhari, 1984).

Menyadari ancaman yang begitu besar dari pencemaran logam berat khususnya merkuri yang disebabkan oleh limbah industri, maka sebelum dibuang ke lingkungan harus segera dilakukan suatu penanganan, agar keseimbangan alam tetap terjaga.

Berbagai metode alternatif telah banyak digunakan untuk mengatasi pencemaran tersebut. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling umum dipakai untuk menangani limbah hasil industri sebelum dibuang ke lingkungan. Adsorpsi memiliki konsep yang lebih sederhana, efektif dan juga ekonomis. Penggunaan biomassa yang berasal dari tumbuhan yang telah mati sebagai adsorben dalam proses adsorpsi saat ini banyak dikembangkan. Teknik ini tidak memerlukan biaya tinggi dan kemungkinan sangat efektif untuk menghilangkan kontaminan logam-logam berat, baik anionik maupun kationik (Saleh, 2004). Allah berfirman dalam Al-Qur'an surat Al-An'am ayat 95:

إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَىٰ ط مَخْرِجُ الْحَيِّ ط مِّنَ الْمَيِّتِ وَمُخْرِجُ الْمَيِّتِ مِّنَ الْحَيِّ ط ذَٰلِكُمْ اللَّهُ فَالِقُ

تُوفِّكُونَ ﴿٩٥﴾

”Sesungguhnya Allah menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan. Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup. (yang memiliki sifat-sifat) demikian ialah Allah, Maka mengapa kamu masih berpaling?”

Ayat tersebut menjelaskan bahwa tumbuh-tumbuhan keluar (tumbuh) dari benda mati. Tumbuhan yang telah mati secara tidak langsung dapat dimanfaatkan kembali untuk sesuatu yang lebih berguna (Jauhari, 1984).

Biomassa yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat, salah satunya adalah *Chaetoceros calcitrans*. Pada penelitian Raya (1998) menunjukkan bahwa, biomassa dalam kondisi mati ini mampu menyerap ion logam Cr(III) dan Al(III). Proses immobilisasi biomassa tersebut pada silika gel juga mampu meningkatkan kapasitas adsorpsinya sebesar 5,38 kali untuk ion logam Al(III) dan 7,68 kali pada ion logam Cr(III).

Tumbuhan enceng gondok dalam kondisi mati juga dapat digunakan sebagai biomassa untuk mengadsorpsi logam berat, khususnya ion logam merkuri(II). Hasil penelitian Al-Ayubi (2008) dan Khalifah (2008) menunjukkan bahwa, biomassa daun enceng gondok mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi ion logam merkuri(II) pada kondisi optimum pH 6 dengan lama pengocokan 60 menit, dan kapasitas adsorpsi optimum oleh biomassa tersebut terjadi pada konsentrasi awal Hg^{2+} sebesar 80 mg/L.

Pengikatan ion logam oleh biomassa dapat dilakukan dengan metode *batch* maupun metode *kolom*. Metode kolom dipandang lebih aplikatif dibandingkan dengan metode *batch*, karena metode kolom dapat diterapkan dalam skala industri yang besar sehingga dapat digunakan untuk mengatasi hasil dari limbah industri tersebut. Metode kolom juga lebih efisien karena kolom yang sudah digunakan dapat di *recycle* kembali (Gardea-Torresday *et al.*, 1998). Biomassa mempunyai kelemahan karena mudah terdegradasi oleh mikroba dan akan menggumpal ketika dikemas di dalam kolom, sehingga menyebabkan penurunan laju alir. Immobilisasi biomassa pada suatu matriks perlu dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut (Raya, 1998).

Pada penelitian ini, ingin diketahui kapasitas pertukaran ion, kapasitas adsorpsi merkuri(II) dan laju alir optimum oleh biomassa enceng gondok yang diimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom serta perbandingannya dengan metode batch.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Berapa kapasitas pertukaran ion oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat?
2. Berapa kapasitas adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom?
3. Berapa laju alir optimum pada adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom?
4. Bagaimana kapasitas adsorpsi merkuri(II) menggunakan metode kolom dan metode batch?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kapasitas pertukaran ion oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat.
2. Menentukan kapasitas adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom.

3. Menentukan laju alir optimum pada adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom.
4. Mengetahui kapasitas adsorpsi merkuri(II) menggunakan metode kolom dan metode batch

1.4 Manfaat

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi tentang:

1. Pemanfaatan enceng gondok karena selama ini enceng gondok dikenal sebagai gulma yang mengganggu di perairan.
2. Pengolahan limbah industri yang tercemar logam berat terutama merkuri menggunakan biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat seefisien dan seefektif mungkin dengan metode kolom.

1.5 Batasan Masalah

Biomassa yang digunakan adalah daun enceng gondok yang berasal dari Desa Naggungan Kecamatan Prambon Kabupaten Nganjuk.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam yang lain. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup (Palar, 1994). Unsur yang termasuk dalam logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas yang lebih dari 5 gr/cm^3 , dan diantara semua unsur logam berat toksisitas Hg menduduki urutan pertama dibandingkan dengan logam berat lainnya, kemudian diikuti oleh logam berat yang lain seperti: Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn, dan Cu (Sudarmaji, dkk., 2005).

Logam berat merupakan komponen alami tanah. Unsur ini tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan, air minum, atau melalui udara. Logam-logam berat seperti tembaga, selenium, atau seng dibutuhkan tubuh manusia untuk membantu kinerja metabolisme tubuh. Logam-logam tersebut berpotensi menjadi racun jika konsentrasi dalam tubuh tinggi (Martaningtyas, 2002).

Logam berat menjadi berbahaya karena disebabkan sistem bioakumulasi. Bioakumulasi berarti peningkatan konsentrasi unsur kimia tersebut dalam tubuh makhluk hidup sesuai piramida rantai makanan. Akumulasi atau peningkatan konsentrasi logam berat di alam mengakibatkan konsentrasi logam berat dalam tubuh manusia menjadi tinggi. Jumlah yang terakumulasi setara dengan jumlah

logam berat yang tersimpan dalam tubuh ditambah jumlah yang diambil dari makanan, minuman, atau udara yang terhirup. Jumlah logam berat yang terakumulasi lebih besar dibandingkan dengan jumlah yang terekskresi dan terdegradasi (Martaningtyas, 2002).

2.2 Merkuri

Merkuri (Hg) adalah satu-satunya logam yang berwujud cair pada suhu ruang. Merkuri merupakan salah satu unsur logam transisi dengan nomor atom 80 (Martaningtyas, 2006).

Merkuri dan senyawa-senyawanya, seperti halnya logam-logam yang lain tersebar luas di alam mulai dari batuan, air, udara dan bahkan dalam tubuh organisme hidup. Penyebaran dari logam merkuri ini turut dipengaruhi oleh faktor geologi, fisika, kimia dan biologi (Palar, 1994). 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), dan kalomel (HgCl) (Kirk and Otmer, 1981).

Merkuri termasuk unsur logam transisi bersama seng dan kadmium. Merkuri memiliki tingkat oksidasi +1 dan +2, dan merupakan logam dengan ikatan metalik terlemah diantara semua logam, dan satu-satunya logam berfase cair pada temperatur kamar. Lemahnya ikatan metalik mengakibatkan tingginya tekanan uap pada suhu kamar, dan sangat berbahaya jika terhisap oleh makhluk hidup (Sugiyarto, 2004).

Logam merkuri secara umum memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Palar, 1994):

1. Berwujud cair pada suhu ruang 25 °C.
2. Masih berwujud cair pada suhu 396 °C. Pada temperatur ini telah terjadi pemuaian secara menyeluruh.
3. Merupakan logam yang paling mudah menguap jika dibandingkan dengan logam-logam yang lain.
4. Tahanan listrik yang dimiliki sangat rendah, sehingga menempatkan merkuri sebagai logam yang sangat baik untuk menghantarkan daya listrik.
5. Dapat melarutkan bermacam-macam logam untuk membentuk alloy yang disebut juga dengan amalgam.
6. Merupakan unsur yang sangat beracun bagi semua makhluk hidup, baik itu dalam bentuk unsur tunggal (logam) ataupun dalam bentuk persenyawaan.

2.2.1 Merkuri(II)

Senyawa merkuri(II) menggunakan ikatan kovalen. Merkuri(II) klorida dapat terbentuk oleh campuran kedua unsur ini menurut persamaan reaksi:



Senyawa ini sangat larut dalam alkohol dan eter serta larut dalam asam asetat (Kaye and Laby, 1973). Kelarutan merkuri(II) klorida bertambah dengan penambahan ion klorida berlebih oleh karena pembentukan ion kompleks tetrakloromerkurat(II), $[\text{HgCl}_4]^{2-}$ (Sugiyarto, 2004).

Merkuri(II) klorida mudah tereduksi oleh timah(II) klorida menjadi endapan putih merkuri(I) klorida, dan kemudian tereduksi menjadi logam merkuri hitam, hal ini merupakan uji konfirmasi untuk ion merkuri(II) menurut persamaan reaksi (Sugiyarto, 2004):



Merkuri sifatnya 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 di dalam air atau makanan yang sudah melampaui NAB, maka air maupun makanan yang diperoleh dari tempat tertentu harus dinyatakan berbahaya (Budiono, 2003).

2.3 Toksisitas Merkuri

Efek toksisitas merkuri terhadap manusia bergantung pada bentuk komposisi merkuri, jalan masuknya ke dalam tubuh, dan lamanya berkembang (Alfian, 2006). Merkuri biasanya masuk ke dalam tubuh manusia melalui pencernaan bisa dari ikan, kerang, udang maupun perairan yang terkontaminasi hasil buangan industri. Merkuri dalam bentuk logam biasanya sebagian besar dapat disekresikan, dan sisanya akan menumpuk di ginjal dan system saraf yang suatu saat akan mengganggu bila akumulasinya semakin banyak. Merkuri dalam

bentuk logam tidak begitu berbahaya karena hanya 15% yang bisa terserap tubuh manusia, tetapi begitu terpapar di alam ia dapat teroksidasi menjadi metil merkuri dalam suasana asam (Martaningtyas, 2002).

2.3.1 Merkuri(II) Klorida

Merkuri(II) klorida (HgCl_2) adalah salah satu senyawa merkuri anorganik. Bentuk ini lebih toksik dari pada bentuk merkuro (HgCl), hal ini disebabkan karena bentuk divalen lebih mudah larut dari pada bentuk monovalen. Bentuk HgCl_2 juga cepat dan mudah diabsorpsi sehingga daya toksisitasnya lebih tinggi (Alfian, 2006). Uap logam merkuri ini sangat berbahaya, karena sebagai uap merkuri tidak terlihat dan dengan sangat mudah terhisap saat bernafas. Pada saat terpapar oleh logam merkuri, sekitar 80% dari logam merkuri akan terserap oleh alveoli paru-paru dan jalur-jalur pernafasan untuk kemudian ditransfer ke dalam darah dan di dalam darah akan mengalami proses oksidasi yang dilakukan oleh enzim hidrogenperoksida katalase. Ion merkuri ini selanjutnya dibawa ke seluruh tubuh bersama dengan peredaran darah (Palar, 1994).

Penumpukan merkuri terjadi pada otak, selain itu logam ini juga akan terserap dan menumpuk pada ginjal dan hati. Penumpukan yang terjadi pada organ ginjal dan hati masih dapat dikeluarkan bersama urin dan sebagian akan menumpuk pada empedu, artinya waktu retensi logam merkuri di ginjal berlangsung dalam waktu singkat, sehingga tidak begitu berpengaruh. Waktu paruh merkuri dalam ginjal berkisar dalam satu bulan, sedangkan waktu paruh merkuri di dalam otak bisa sampai bertahun-tahun. Berdasarkan hasil penelitian

yang dilakukan terhadap beberapa hewan percobaan, pengeluaran senyawa HgCl₂ melalui urin sangat sedikit hanya sekitar 2,3% sehari. Jumlah tersebut merupakan hasil percobaan dengan pemberian dosis senyawa merkuri sebesar 10 µg/kg berat tubuh (Palar, 1994).

2.4 Enceng Gondok

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 Sarma, 1981). Klasifikasi enceng gondok secara umum adalah (Moenandir, 1990):

Divisio	: <i>Embryophytasi Phonogama</i>
Sub Divisio	: <i>Spermathopyta</i>
Klas	: <i>Monocotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Ferinosae</i>
Famili	: <i>Pontederiaceae</i>
Genus	: <i>Eichhornia</i>
Spesies	: <i>Eichhornia Crassipes (Mart) Solm.</i>

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. Kadar O₂ yang terlarut dalam air pada konsentrasi 3,5 – 4,8 ppm menyebabkan perkembangbiakan enceng gondok dapat berjalan dengan cepat (Moenandir,1990).



Gambar 2.1 Tumbuhan Enceng Gondok

Muramoto dan Oki dalam (Soedibyo, 1989) menjelaskan bahwa, enceng gondok dapat digunakan untuk menghilangkan polutan karena fungsinya sebagai sistem filtrasi biologis, menghilangkan nutrisi mineral, untuk menghilangkan logam berat seperti cuprum, aurum, cobalt, strontium, merkuri, timah, kadmium dan nikel. Winarno menyebutkan bahwa hasil analisis 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% (Supriyanto dan Muladi, 1999).

2.5 Adsorpsi Logam oleh Biomassa

Biomassa adalah bahan yang berasal dari zat-zat organik yang dapat diperbaharui dan dari makhluk hidup baik hewan maupun tumbuhan (Shofia, 2006). Biomassa merupakan tumbuh-tumbuhan seperti pepohonan, rerumputan, hasil pertanian ataupun mikroorganisme. Pada umumnya, mekanisme pengikatan ion logam oleh biomassa dapat terjadi melalui mekanisme secara aktif maupun pasif. Pengikatan ion logam secara aktif oleh tumbuhan terjadi pada saat tumbuhan masih hidup dan terjadi akumulasi intraselular ion logam tersebut.

Pengikatan ion logam secara pasif terjadi karena ion logam diikat oleh dinding sel tumbuhan ketika tumbuhan telah mati (Gamez, 1999). Proses ini terjadi ketika gugus-gugus fungsi seperti karbonil, amino, tiol, hidroksi, fosfat dan hidroksikarbonil yang berada pada dinding sel mengikat ion logam tersebut. Mekanisme proses ini bersifat *reversible* dan berlangsung cepat (Suhendrayatna, 2001).

Pengikatan ion logam pada biomassa tidak bergantung pada aktivitas metabolik, namun pengikatan berlangsung pada permukaan sel. Pada lapisan permukaan sel biomassa terdapat situs-situs yang bermuatan berlawanan dengan logam sehingga interaksinya merupakan interaksi pasif. Penggunaan biomassa dari alga mempunyai kelemahan karena mudah terdegradasi oleh mikroba dan mempunyai ukuran sangat kecil, sehingga sukar dikemas di dalam kolom. Kelemahan-kelemahan tersebut dapat diatasi dengan melakukan immobilisasi terhadap alga pada matriks silika gel. Pada penelitian Raya (1998) biomassa alga *Chaetoceros calcitrans* pada matriks silika gel terbukti mempunyai kemampuan untuk menyerap ion-ion logam Cr(III) dan Al (III) dari larutannya.

Pada penelitian Raya (1998) tersebut dilakukan immobilisasi terhadap biomassa alga *Chaetoceros calcitrans* pada matriks silika gel. Alga hasil immobilisasi tersebut digunakan untuk menyerap ion-ion logam Cr(III) dan Al(III) dari larutannya. Proses adsorpsi dilakukan dengan dua metode, yaitu: metode *kolom* dan metode *batch*. Metode kolom digunakan untuk adsorben silika gel dan *Chaetoceros calcitrans* terimmobilisasi, sedangkan metode batch khusus

untuk adsorben *Chaetoceros calcitrans* tanpa immobilisasi yang parameternya meliputi pengaruh waktu, konsentrasi dan suhu.

Hasil penelitian Raya (1998) menunjukkan bahwa berdasarkan kajian pengaruh waktu, konsentrasi dan energi adsorpsi dapat dinyatakan bahwa adsorpsi ion logam Cr(III) dan Al(III) oleh alga *Chaetoceros calcitrans* terimmobilisasi pada silika gel adalah adsorpsi kimia, dan mencapai kesetimbangan setelah 80 menit. Adsorpsi Cr(III) dan Al(III) pada adsorben *Chaetoceros calcitrans* tanpa immobilisasi mencapai kesetimbangan setelah 15 menit. Proses immobilisasi biomassa tersebut pada silika gel mengakibatkan peningkatan kapasitas adsorpsi biomassa *Chaetoceros calcitrans* sebesar 5,38 kali untuk ion logam Al(III) dan 7,68 kali pada ion logam Cr(III). Berdasarkan penelitian tersebut dapat dinyatakan bahwa biomassa *Chaetoceros calcitrans* terimmobilisasi pada silika gel cukup potensial sebagai adsorben untuk pengambilan logam toksik, khususnya ion logam Al(III) dan Cr(III).

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses Bergeraknya suatu komponen dari suatu fasa menuju permukaan fasa yang lain sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan. Pada proses adsorpsi, adsorben merupakan zat yang mempunyai sifat mengikat molekul pada permukaannya. Sifat ini menonjol pada permukaan berpori (Dewi, 2006). Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat dan disebabkan oleh gaya valensi (valence force) atau gaya tarik menarik (attractive forces) dari atom atau molekul pada lapisan paling luar dari zat padat tersebut (Respati, 1992).

Adsorpsi senyawa terlarut oleh adsorben berlangsung terus menerus dan berhenti pada saat sistem mencapai kesetimbangan, yaitu kesetimbangan antara konsentrasi yang tinggal dalam larutan dengan konsentrasi yang diadsorpsi oleh adsorben. Adsorben yang baik umumnya mempunyai luas permukaan yang besar tiap unit partikelnya, berpori, aktif dan murni, tidak bereaksi dengan adsorbat (Kirk and Othmer, 1981).

Proses adsorpsi terjadi pada konsentrasi selektif dari satu atau lebih komponen (adsorbat) dari fasa gas atau cairan pada permukaan pori-pori zat padat (adsorben). Adsorbat dapat diserap kembali dengan menaikkan temperatur adsorben atau mereduksi tekanan parsial adsorbat (Rousseau, 1987).

2.6.1 Adsorpsi Fisika dan Kimia

Pada umumnya dikenal dua jenis adsorpsi, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika adalah adsorpsi yang disebabkan oleh interaksi antara adsorben dengan adsorbat pada permukaan karena adanya gaya Van der Waals (Oscik and Cooper, 1991). Adsorpsi ini berlangsung sangat cepat karena adsorbat tidak terikat dengan kuat pada permukaan adsorben sehingga dapat bergerak dari satu bagian adsorben ke bagian yang lain. Sifat adsorpsinya adalah *reversible*, yaitu dapat balik atau dilepaskan kembali ke dalam larutan dengan adanya penurunan konsentrasi larutan dengan panas reaksi 5 – 19 kkal/mol (Parker, 1984).

Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang melibatkan ikatan kovalen sebagai hasil pemakaian bersama elektron oleh adsorben dan adsorbat yang membutuhkan

panas adsorpsi 20 – 100 kkal/mol. Adsorpsi kimia berkaitan dengan pembentukan ikatan kimia yang melibatkan adsorben dan permukaan zat yang diserap (Oscik and Cooper, 1991). Adsorpsi ini biasanya tidak *reversible* dan adsorben harus dipanaskan pada temperatur tinggi untuk memisahkan adsorbat (Dewi, 2006).

2.6.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Sawyer and Mc Carty, 1987)):

1. Sifat dan jenis adsorben

Sifat adsorben, seperti kemurnian adsorben dan luas permukaannya. Kemurnian adsorben dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi. Makin besar luas permukaan, makin besar pula adsorpsi yang terjadi. Kemampuan adsorben untuk terikat pada adsorbat sangat bergantung pada jenis adsorben dan adsorbat yang bereaksi. Jenis adsorben menyangkut ciri khas dari suatu adsorben untuk menyerap adsorbat, apabila adsorbennya berupa tanah, mineral yang terkandung dalam tanah tersebut yang menentukan proses adsorpsi (Kusuma, 2002).

2. Temperatur

Reaksi yang terjadi pada adsorpsi biasanya eksotermis, oleh karena itu adsorpsi akan besar jika terjadi pada suhu rendah.

3. Sifat adsorbat

Jumlah yang teradsorpsi tergantung pada kelarutannya dalam pelarut. Kenaikan kelarutan menunjukkan ikatan yang kuat antara zat terlarut

dengan pelarut dan aksi yang sebaliknya terhadap adsorpsi oleh adsorben. Besarnya kelarutan, maka ikatan antara zat terlarut dengan pelarut makin kuat sehingga adsorpsi akan makin kecil karena sebelum adsorpsi terjadi diperlukan energi yang besar untuk memecah ikatan zat terlarut dengan pelarut.

4. pH larutan

Pada umumnya adsorpsi bertambah pada kisaran pH dimana suatu senyawa bermuatan netral, karena senyawa yang tidak terionisasi akan lebih mudah diserap dari pada senyawa yang terionisasi.

5. Waktu kontak

Waktu kontak yang cukup diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi, jika fase cair yang berisi adsorben diam maka difusi adsorbat melalui permukaan adsorben akan lambat, oleh karena itu diperlukan pengocokan untuk mempercepat proses adsorpsi.

6. Konsentrasi adsorbat

Pada umumnya akan meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi adsorbat tetapi tidak berbanding langsung. Adsorpsi akan konstan jika terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi yang tersisa dalam larutan.

Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan adanya pengaruh dari konsentrasi adsorbat. Penentuan kapasitas adsorpsi dapat dihitung berdasarkan mol per gram adsorben dengan menggunakan persamaan (Moret, 2005):

$$q = \frac{(C_0 - C) \times V}{W}$$

Dimana: q = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_0 = konsentrasi awal (ppm)

C = konsentrasi sisa (ppm)

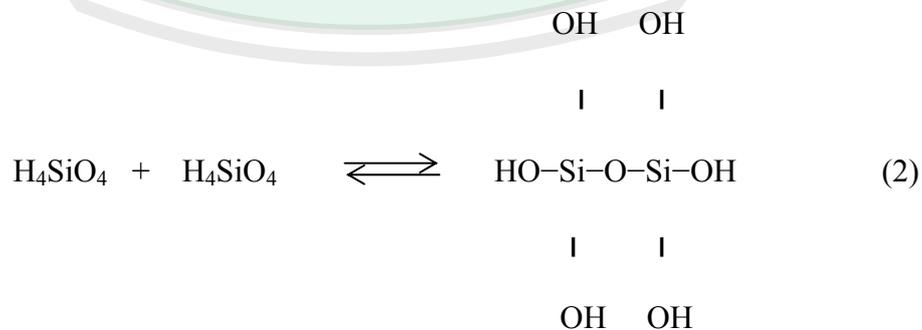
V = volume larutan total (L)

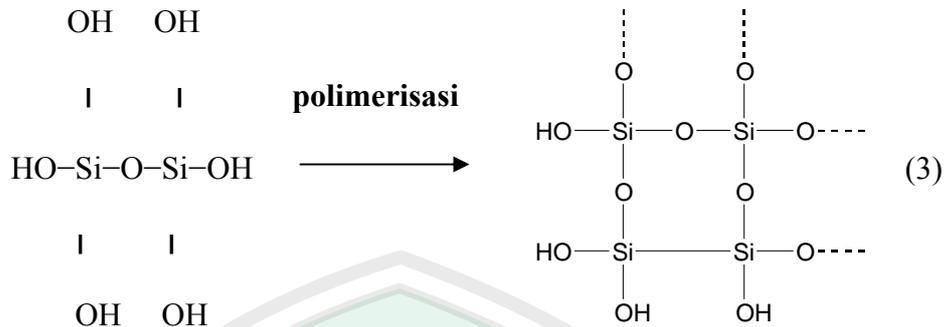
W = berat adsorben (g)

2.7 Immobilisasi Biomassa Pada Matriks Polisilikat

Polisilikat dapat dibuat dari natrium silikat (Na_2SiO_3) yang direaksikan dengan suatu asam. Reaksinya akan menghasilkan asam monosilikat, yang selanjutnya mengalami polimerisasi membentuk gel polisilikat (Hennisch, 1988). Gardea-Torresdey *et al.* (1998) membuat polimer polisilikat dengan cara mereaksikan larutan Na_2SiO_3 6 % dengan larutan asam sulfat 5 % pada pH 2,0.

Reaksinya adalah sebagai berikut (Hennisch, 1988):





Gambar 2.2 Reaksi pembentukan polimer polisilikat

Reaksi ini akan terjadi secara terus menerus hingga terbentuk jaringan rantai Si–O–Si dengan sistem tiga dimensi ke segala arah (Hennisch, 1988). Biomassa ketika dicampur dengan gel polisilikat pada pH rendah, dimana pada kondisi pH tersebut gel polisilikat masih sangat lembek, maka dengan pengadukan dapat diperoleh campuran homogen biomassa-polisilikat. Peningkatan pH akan mengeraskan gel polisilikat, sehingga biomassa akan terimmobilisasi di dalam matriks polisilikat (Elviera, 2006).

2.8 Kolom

Kolom yang digunakan dalam pertukaran ion dapat berupa pipa gelas atau tabung yang dilengkapi bagian bawahnya dengan katup atau kran dan gelas penyaring didalamnya. Kolom-kolom tersebut dapat dibuat secara sederhana dari tabung gelas, sehingga buret juga dapat digunakan (Sastrohamidjojo, 1991). Berbagai ukuran kolom dapat digunakan tergantung pada banyaknya zat yang akan dipisahkan, tetapi biasanya panjang kolom sekurang-kurangnya 10 kali dari

diameter kolom (Gritter, 1991). Glass wool atau kapas dapat digunakan untuk menahan penyerap yang diletakkan di dalam kolom (Sastrohamidjojo, 1991).

Proses pengisian kolom adalah tidak mudah, untuk mendapatkan pengisian kolom yang homogen. Pengisian yang tidak teratur dari adsorben akan merusak proses pemisahan. Putusnya adsorben dalam kolom biasanya disebabkan oleh gelembung-gelembung udara selama pengisian, dan untuk mencegah hal tersebut sedapat mungkin zat pengisi/ adsorben dibuat menjadi “bubur” dengan pelarut kemudian dituangkan perlahan-lahan dalam tabung. Pengisian adsorben ke dalam kolom dapat dibantu dengan mengguncang perlahan-lahan, maka akan diperoleh pengisian yang homogen. Besarnya partikel-partikel adsorben yang diperoleh sama, akan lebih mudah untuk mendapatkan pengisian yang homogen. Adsorben yang telah dimasukkan ke dalam kolom harus diperhatikan jangan sampai ada bagian yang kering, baik selama pengisian atau selama pemisahan (Sastrohamidjojo, 1991). Banyaknya resin yang diperlukan untuk mengemas kolom penukar ion 50 cm disajikan dalam tabel di bawah ini (Johnson dan Stevenson, 1991).

Tabel 2.1 Jumlah resin untuk mengemas kolom penukar ion 50 cm

Garis Tengah (mm)	Banyaknya Resin (gram)
2	2
4	6
8	24

2.9 Resin Penukar Ion

Resin penukar ion dapat didefinisikan sebagai senyawa hidrokarbon terpolimerisasi yang mengandung ikatan hubung silang, serta gugusan fungsional yang mempunyai ion-ion yang dapat dipertukarkan. Resin sebagai zat penukar ion mempunyai karakteristik yang berguna dalam analisis kimia, antara lain kemampuan menggelembung, kapasitas penukaran dan selektivitas penukaran (Anonymous, 1996).

Beraneka ragam bahan organik dan anorganik menunjukkan proses pertukaran ion, tetapi pada penelitian laboratorium dimana keseragaman sangat penting. Pertukaran ion yang sangat disukai biasanya adalah bahan-bahan yang dikenal sebagai resin pertukaran ion yang bertindak sebagai fasa diam. Resin dapat dibuat dengan memasukkan gugus yang dapat diionisasi ke dalam matriks polimer organik yang terhubung silang sebagai adsorben (Underwood, 2002).

Kromatografi penukar ion sangat bermanfaat untuk memisahkan molekul-molekul bermuatan, terutama ion-ion baik anion maupun kation. Kromatografi penukar ion dibedakan menjadi dua golongan utama, yaitu: kromatografi penukar kation dan anion.

Resin penukar kation mengandung gugus karboksilat, sulfonat, fenolat atau gugus lain dan sejumlah kation ekuivalen (Dewi, 2005). Resin penukar kation merupakan resin yang mempunyai gugus kation dalam bentuk H^+ yang dapat dipertukarkan dengan kation lain, misalnya asam arisulfonat yang merupakan asam kuat, sehingga gugus-gugus ini terionisasi pada saat air menembus manik-manik resin:



Bertolak belakang dengan elektrolit biasa, anion terikat secara permanen pada matriks polimernya. Anion ini tidak bisa bermigrasi melalui fasa berair di dalam pori-pori resin, juga tidak bisa melepaskan diri dan bergerak menuju larutan terluar. Pengikatan anion ini kemudian membatasi pergerakan dari kation H^+ . Netralitas kelistrikan dijaga tetap didalam resin, dan kation H^+ tidak akan meninggalkan fasa resin kecuali jika ion ini digantikan dengan kation yang lain, dimana penggantian ini merupakan proses pertukaran ion. Pertukaran ini bersifat stoikiometri, yakni satu H^+ digantikan oleh satu Na^+ , dua H^+ digantikan oleh satu Ca^{2+} dan seterusnya. Pertukaran ion merupakan proses kesetimbangan dan jarang terjadi dengan sempurna, tetapi tanpa memperhatikan sampai sejauh mana proses itu berlangsung. Stoikiometrinya bersifat eksak dalam arti, satu muatan positif meninggalkan resin untuk satu muatan yang masuk ke dalam resin. Ion yang dapat dipertukarkan yakni ion yang tidak terikat pada matriks polimer disebut sebagai ion lawan (counterion) (Underwood, 2002).

Gugus fungsional yang lain dalam resin kation, yaitu dapat berupa asam lemah COOH . Resin ini tidak menunjukkan sifat-sifat pertukaran ion kecuali jika pH nya cukup tinggi untuk mengubah asam bebas netral menjadi anion karboksilat, COO^- sesuai dengan reaksi:



Resin pertukaran kation hanya mampu berkeseimbangan dengan kation terlarut dalam sampel. Kation-kation dengan muatan lebih besar akan lebih mudah

diikat oleh resin kation dari pada kation-kation dengan muatan lebih kecil (Underwood, 2002).

Resin pertukaran anion adalah resin yang mempunyai gugus anion yang berkemampuan menukar anion terlarut. Resin pertukaran anion secara umum dibedakan menjadi basa kuat dan basa lemah. Gugus penukar anion dapat berupa hidroksil atau klorida atau anion lain. Resin pertukaran anion basa kuat mempunyai gugus ammonium kuartener bermuatan positif dan gugus hidroksil bermuatan negatif yang dapat dipertukarkan, sedangkan resin pertukaran anion basa lemah mempunyai gugus ammonium tersier atau sekunder (Underwood, 2002).

2.9.1 Kapasitas Pertukaran Ion

Kapasitas pertukaran ion merupakan indikator efektivitas dari resin. Suatu resin apabila digunakan dalam jangka waktu lama, dan diregenerasi tidak dapat sempurna seperti kondisi semula. Penentuan kapasitas pertukaran dalam jangka waktu tertentu merupakan salah satu kontrol yang harus dilakukan untuk mengetahui kondisi tersebut (Underwood, 2002). Kapasitas pertukaran ion ditentukan dengan cara menghitung jumlah gugus yang dapat dipertukarkan (mmol) setiap gram resin kering atau setiap mililiter resin basah. Besarnya nilai kapasitas pertukaran ion tergantung dari jumlah gugus aktif yang mampu dipertukarkan. Jumlah gugus aktif yang semakin banyak, maka nilai kapasitas pertukaran ionnya juga akan semakin besar. Resin yang masih baru dipreparasi mempunyai nilai kapasitas pertukaran maksimal. Resin yang semakin sering

digunakan dan diregenerasi, maka nilai kapasitas pertukaran ionnya semakin turun, dikarenakan jumlah gugus aktifnya semakin berkurang (Dewi, 2005). Kapasitas resin kation dalam mili-ekuivalen per gram diberikan oleh $\alpha v/W$, di mana α adalah molaritas larutan, v adalah volume larutan dalam mL, dan W adalah gram resin kering (Bassett, dkk., 1994).

Kapasitas pertukaran ion dalam mili-ekuivalen per gram dapat ditentukan dengan (Underwood, 2002):

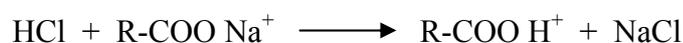
$$\text{Kapasitas pertukaran ion} = \frac{\text{jumlah (mmol) ion di dalam resin}}{\text{gram resin kering/mL resin basah}}$$

s2.9.2 Regenerasi

Proses regenerasi adalah proses pengembalian gugus resin pada kondisi semula. Resin yang masih baru dipreparasi mempunyai gugus aktif asli. Pada resin kation gugus aktif yang mampu ditukar adalah H^+ , sehingga apabila larutan kationik dilewatkan ke dalam resin kation akan terjadi proses pertukaran seperti reaksi berikut (Anonymous, 1996):



Proses regenerasi resin kation dilakukan dengan cara, mengganti kembali kation yang terikat dalam resin menjadi gugus H^+ kembali. Regenerasi resin kation dapat dilakukan dengan melewati larutan HCl ke dalam resin seperti reaksi berikut (Anonymous, 1996):

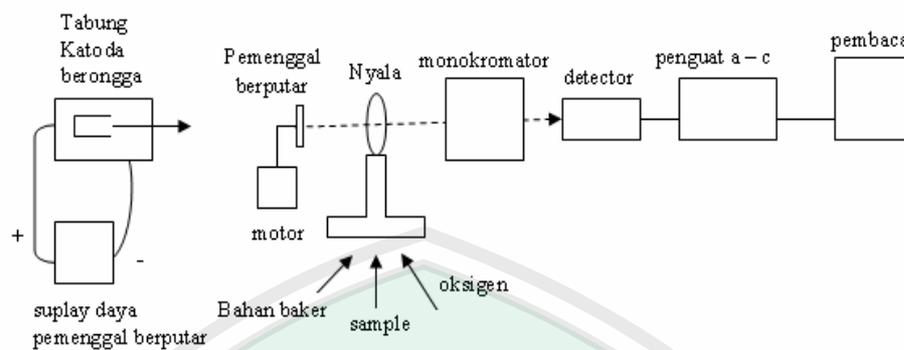


Regenerasi resin anion yang mempunyai gugus asli klorida juga dilakukan dengan larutan HCl atau NaCl. Proses regenerasi dilakukan setelah resin baik kation atau anion digunakan dalam proses pemisahan. Regenerasi resin penting digunakan untuk mengetahui kinerja atau efektivitas dari resin itu sendiri. Efektivitas resin ditentukan oleh kapasitas pertukaran ionnya.

2.10 Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi serapan atom atau *Atomic Adsorption Spectroscopy* (AAS) merupakan metode yang sangat tepat digunakan untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Metode AAS ini sangat spesifik, logam-logam yang membentuk campuran kompleks dapat dianalisis dan selain itu tidak selalu diperlukan sumber energi yang besar (Khopkar, 2003).

Metode AAS juga 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 tersebut merupakan sebuah frekuensi-frekuensi diskrit yang menyatakan transisi elektron dalam suatu atom logam (Underwood, 2002).



Gambar 2.3 Komponen spektrofotometri serapan atom (Underwood, 2002)

Prinsip metode AAS adalah pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu tergantung pada sifat unsurnya. Cahaya pada panjang gelombang tertentu mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom. Transisi elektronik suatu unsur bersifat spesifik, dengan absorpsi energi berarti memperoleh lebih banyak energi suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan tingkat energinya ke tingkat eksitasi. Spektrum atomik untuk masing-masing unsur terdiri atas garis-garis resonansi. Garis-garis lain dapat berupa spektrum yang berasosiasi dengan tingkat energi molekul, biasanya berupa pita-pita lebar ataupun garis tidak berasal dari eksitasi tingkat dasar yang disebabkan proses atomisasinya. Keberhasilan analisis ini tergantung pada proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat (Khopkar, 2003).

2.11 Menjaga dan Memelihara Keseimbangan Alam dalam Pandangan Islam

Al-Qur'an adalah sumber utama dan pertama dari ajaran-ajaran agama Islam. Isinya mengandung segala sesuatu yang diperlukan bagi kepentingan hidup dan kehidupan manusia yang bersifat perseorangan dan kemasyarakatan. Baik berupa nilai-nilai moral dan norma-norma hukum yang mengatur hubungan manusia dengan Khaliq (penciptanya) maupun yang mengatur hubungan manusia dengan dirinya, sesamanya dan makhluk-makhluk lain yang merupakan lingkungan hidupnya.

Apabila kita menyimak dan mengkaji Al-Qur'an, kita akan menemukan dasar-dasar keimanan, sendi-sendi peribadatan, pedoman-pedoman hidup dalam pergaulan antar manusia, petunjuk-petunjuk tentang akhlak mulia, undang-undang umum, prinsip-prinsip hukum dan pelajaran kepada manusia. Tujuannya adalah agar manusia dapat mempergunakan tenaga dan pikirannya, untuk mengambil manfaat dari isi alam yang luas ini bagi kesejahteraan hidup manusia itu sendiri (Gani dan Umam, 1986).

Makhluk yang ada dalam suatu lingkungan hidup satu dengan lainnya mempunyai hubungan (*interconnected*). Suatu hal yang sangat menarik dalam hubungan ini ialah, bahwa tatanan lingkungan hidup (*ekosistem*) yang diciptakan Allah itu mempunyai hukum keseimbangan (*equilibrium*). Demi terpeliharanya keseimbangan dan kelestarian lingkungan (alam) untuk kesejahteraan hidup manusia khususnya, dan makhluk-makhluk yang lainnya, maka jauh sebelumnya Allah telah memperingatkan kepada manusia dalam Al-Qur'an surat Al-A'raf ayat

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا

“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya”.

Kata-kata *ba'da islaahiha* pada ayat tersebut dengan jelas menunjukkan adanya hukum keseimbangan (*equilibrium*) dalam tatanan lingkungan hidup (alam) yang harus diusahakan agar tetap terpelihara kelestariannya (Gani dan Umam, 1986). Tidak sedikit pula ayat Al-Qur'an yang mendorong manusia untuk mengendalikan diri untuk tidak membuat kerusakan di bumi, baik terhadap sumber alam maupun lingkungan hidup, dan menyatakan ketidaksenangan dan kegusaran Tuhan kepada mereka yang melakukan kerusakan. Jelas sekali hal itu akan mengakibatkan gangguan dan hilangnya keseimbangan lingkungan hidup, sebagaimana tersirat dalam Al-Qur'an surat Al-Qashah ayat 77 :

وَأَتَّبِعْ فِي مَآءِ آتَنَّاكَ اللَّهُ الدَّارَ الْآخِرَةَ وَلَا تَنْسَ نَصِيبَكَ مِنَ الدُّنْيَا وَأَحْسِنْ كَمَا
أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ وَلَا تَبْغِ الْفَسَادَ فِي الْأَرْضِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ ﴿٧٧﴾

“Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bahagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik, kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan”.

Manusia sebagai salah satu unsur lingkungan hidup, juga merupakan makhluk Tuhan yang paling sempurna dan mempunyai kemampuan yang berlebih dibandingkan dengan makhluk hidup lainnya.

Manusia mempunyai kedudukan serta martabat yang mulia di dunia, yaitu sebagai khalifah dan pemegang amanat di muka bumi, dengan kelengkapan

hidayah Al-Qur'an dan akal. Manusia sebagai khalifah di bumi mempunyai tugas dan tanggung jawab yang besar untuk memelihara kelestarian alam yang merupakan lingkungan hidupnya, sehingga bumi dengan segala kekayaan yang diamanatkan kepadanya dapat tetap menjadi tempat yang nyaman dan menyenangkan, serta menjadi sumber penghidupan bagi kesejahteraan umat manusia dari satu generasi ke generasi sesudahnya. Allah berfirman dalam surat Al-Baqarah ayat 69 :

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَّا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا

“ Dialah (Allah), yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu.”

Cara mensyukuri amanat yang dipercayakan kepada manusia itu yang paling tepat adalah dengan memelihara, mengolah, mengembangkan dan memanfaatkan kekayaan alam dengan sebaik-baiknya. Usaha untuk pemeliharaan lingkungan hidup (alam), secara garis besar Qur'an memerintahkan kepada manusia untuk:

a. Pengelolaan sumber alam dan lingkungan hidup

Sumber alam yang dimaksudkan, terutama adalah sumber alam yang dapat memperbaharui sendiri atau dapat diperbaharui (*renewable resources*), misalnya udara, air, tanah dan tumbuh-tumbuhan.

b. Pemanfaatan sumber alam dengan bijaksana

Pemanfaatan sumber kekayaan alam ini demi terpeliharanya lingkungan hidup, Qur'an memberikan ketentuan-ketentuannya, seperti: tidak boleh

melakukan pemborosan dan dilarang merusak sumber alam dan lingkungan hidup.

Apabila terjadi gangguan terhadap keseimbangan suatu lingkungan, perlu segera diambil tindakan dan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengembalikan atau memulihkan kembali keseimbangan itu, dan agar jangan sampai keseimbangan tersebut terganggu lagi. Usaha-usaha inilah yang dimaksudkan dengan pemeliharaan, pembinaan dan pengembangan lingkungan hidup, agar tetap terpelihara kelestariannya dan kualitasnya (Gani dan Umam, 1986).

Pemeliharaan, pembinaan dan usaha pelestarian lingkungan hidup adalah termasuk urusan duniawi atau masalah muamalah yang berkaitan dengan pengaturan hubungan antara manusia dengan lingkungan hidupnya. Baik dari lingkungan sosial maupun lingkungan alam, sehingga perlu kita pahami bahwa Al-Qur'an hanya memberikan dasar-dasar, prinsip-prinsip dan pokok-pokok ajaran yang dapat memberikan motivasi atau mendorong manusia untuk melakukan kegiatan dan perbuatan yang positif (konstruktif), dan mengendalikan diri untuk tidak melakukan kegiatan dan perbuatan yang negatif (destruktif) terhadap alam. Bentuk, cara dan teknik yang dipergunakan untuk usaha pemeliharaan lingkungan tersebut sepenuhnya diserahkan kepada manusia untuk memikirkannya sesuai dengan tuntutan ilmu pengetahuan dan teknologi (Gani dan Umam, 1986).

Al-Qur'an pada dasarnya memberikan dorongan semangat dan motivasi yang kuat, serta menumbuhkan kesadaran berwawasan lingkungan pada diri

manusia agar keseimbangan lingkungan hidup itu dapat tetap terpelihara, terbina dan terjamin kelestariannya bahkan meningkat kualitasnya. Usaha tersebut yang pertama adalah bersikap dan berlaku positif, atau menurut istilah Qur'an berbuat *ihsan* terhadap lingkungan hidupnya. Kedua, tidak bersikap dan berlaku negatif (destruktif), yang dalam istilah Qur'an disebut berbuat *fasad* atau *ifsad* terhadap lingkungan hidup (Gani dan Umam, 1986).

Pemanfaatan tumbuhan merupakan suatu usaha lain yang dapat digunakan untuk pemeliharaan lingkungan, sebagaimana disebutkan dalam Al-Qur'an surat Qaaf ayat 7-8:

وَالْأَرْضَ مَدَدْنَاهَا وَأَلْقَيْنَا فِيهَا رَوْسِيَ وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ بَهِيجٍ ۖ تَبْصِرَةً وَذِكْرَىٰ لِكُلِّ عَبْدٍ مُّنِيبٍ ﴿٧﴾

"Dan Kami hamparkan bumi itu dan Kami letakkan padanya gunung-gunung yang kokoh dan Kami tumbuhkan padanya segala macam tanaman yang indah dipandang mata (7) Untuk menjadi pelajaran dan peringatan bagi tiap-tiap hamba yang kembali (mengingat Allah) (8)".

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah menciptakan bumi (alam) ini sebagai media kehidupan bagi semua makhluk ciptaanNya, dan meletakkan gunung yang berfungsi sebagai tonggak supaya bumi tidak goyah bahkan kokoh dan stabil, kemudian pada lereng-lerengnya tumbuh berbagai macam tumbuhan yang indah. Alasan diciptakannya bumi dengan segala isinya, ialah agar semuanya bisa dijadikan bahan renungan bagi setiap umatnya. Tumbuhan yang tumbuh di alam ini dapat dimanfaatkan oleh semua makhlukNya khususnya adalah manusia, dan dijadikan sebagai suatu bahan penelitian untuk menjaga dan melestarikan alam semesta (Matsna, 1996).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan bersifat eksperimental dengan perlakuan variasi konsentrasi dan laju alir.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Malang pada bulan Januari sampai dengan bulan Maret 2008.

3.3 Bahan-bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berderajat pro analisis (p.a) yang meliputi asam klorida (HCl), merkuriklorida (HgCl_2), asam sulfat (H_2SiO_4) 5%, natrium silikat (Na_2SiO_3) 6%, natrium klorida (NaCl), barium klorida (BaCl_2), natrium hidroksida (NaOH) dan kalium iodida (KI) 5%.

Bahan-bahan yang lain adalah daun enceng gondok, aquades dan aquademineral.

3.4 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah seperangkat alat gelas, kolom penukar ion dengan panjang 25 cm dan diameter 1

cm, oven, ayakan 120 dan 150 mesh, ayakan 20 dan 34 mesh, magnetik stirer, shaker, pH meter, neraca Mettler, dan Spektrofotometer Serapan Atom.

3.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, meliputi:

1. Persiapan biomassa Enceng gondok.
2. Immobilisasi biomassa pada matriks polisilikat.
3. Penentuan kapasitas pertukaran ion oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat.
4. Penentuan kapasitas adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom.
5. Penentuan perubahan kapasitas pertukaran ion oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat terhadap regenerasi.
6. Penentuan laju alir optimum pada adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom.
7. Penentuan kapasitas adsorpsi merkuri(II) menggunakan metode kolom dan metode batch.
8. Analisis data.

3.6 Cara Kerja

3.6.1 Preparasi Biomassa Daun Enceng Gondok (Setiawan, 2005)

Tumbuhan enceng gondok yang diperoleh dipisahkan dari tanahnya dan dicuci. Bagian daun dipisahkan dari akar dan batangnya. Daun enceng gondok dikeringkan dalam oven dengan suhu 90°C hingga diperoleh berat konstan. Sampel yang telah kering ditumbuk sampai halus dan disaring dengan ayakan berukuran 120 mesh, kemudian sampel yang lolos disaring kembali dengan ayakan ukuran 150 mesh. Sampel yang digunakan adalah sampel yang tertinggal pada ayakan yang berukuran 150 mesh. Sampel dicuci dengan HCl 0,01 M, kemudian dicuci dengan aquades hingga netral. Sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 50–60°C sampai diperoleh berat konstan.

2.6.2 Immobilisasi Biomassa pada Matriks Polisisilikat (Gardea-Torresdey *et al.*, 1998)

Sebanyak 75 mL asam sulfat (H_2SO_4) 5% dicampur dengan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) 6% secukupnya untuk menaikkan pH menjadi 2,0. Pada pH 2,0 ditambahkan 5 gram biomassa ke dalam larutan silikat, kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 15 menit. pH larutan dinaikkan dengan menambahkan larutan natrium silikat 6 % sedikit demi sedikit sampai mencapai pH 7,0. Gel polimer dicuci dengan aquades sampai filtrat tidak membentuk endapan ketika ditetesi dengan larutan barium klorida ($BaCl_2$). Gel polimer dengan biomassa yang telah terimmobilisasi dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama satu malam, kemudian ditumbuk dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel 20–34 mesh.

3.6.3 Penentuan Kapasitas Pertukaran Ion (Dewi, 2005)

Sebuah kolom penukar ion yang telah diberi glass wool pada bagian dasarnya diisi dengan 1 gram adsorben kering yang telah dipreparasi, sehingga menjadi adsorben basah sampai homogen (dapat dilihat pada lampiran L.2.1). Adsorben yang telah homogen, bagian atasnya dilapisi dengan glass wool kembali. Kolom dialiri dengan HCl 0,01 M sampai effluen bersifat asam dan dicuci dengan aquades sampai netral. Larutan NaCl jenuh dimasukkan perlahan-lahan ke dalam kolom dan dialirkan dengan kecepatan konstan 3 mL/menit. Effluen ditampung sampai effluen yang keluar bersifat netral (dites dengan indikator universal), setelah itu effluen dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan diencerkan sampai tanda batas, kemudian diambil 25 mL larutan tersebut untuk dititrasi dengan NaOH 0,1 M.

2.6.3 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) yang terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat dengan Metode Kolom

Sebuah kolom penukar ion yang telah diberi glass wool pada bagian dasarnya diisi dengan 1 gram adsorben kering yang telah dipreparasi, sehingga menjadi adsorben basah sampai homogen. Adsorben yang telah homogen, bagian atasnya dilapisi dengan glass wool kembali. Kolom dialiri dengan HCl 0,01 M sampai effluen bersifat asam dan dicuci dengan aquades sampai netral. Kolom dialiri 100 mL larutan HgCl₂ 25 ppm dengan pH optimum 6 hasil uji pendahuluan dan dialirkan isi kolom dengan kecepatan konstan 3 mL/menit dan dilanjutkan dengan penambahan aquades hingga effluen yang keluar bebas Hg, yaitu dilakukan uji kualitatif dengan peneteskan kalium iodida 5% sampai tidak

terbentuk endapan merah. Endapan merah HgI_2 yang didapat dari uji kualitatif tersebut dilarutkan dengan HCl 0,01 M. Effluen ditampung dan dicampur dengan larutan Hg hasil uji kualitatif, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan diencerkan sampai tanda batas untuk dianalisis dengan Spektrometer Serapan Atom (AAS). Perlakuan diulang dengan prosedur yang sama untuk konsentrasi larutan HgCl_2 50, 75, 100, 125, 150 ppm.

3.6.5 Penentuan Perubahan Kapasitas Pertukaran Ion

Kolom penukar ion hasil percobaan penentuan kapasitas pertukaran ion dicuci dengan aquades kemudian dialiri 100 mL larutan HgCl_2 pH optimum 6 dengan konsentrasi optimum hasil percobaan 3.6.4 dan dialirkan isi kolom dengan kecepatan konstan 3 mL/menit sampai diperoleh effluen 100 mL.

Setelah itu dilakukan proses regenerasi, dimana kolom yang berisi adsorben dicuci dengan larutan HCl 0,1 M hingga effluen yang keluar bebas Hg yaitu dilakukan uji kualitatif dengan penetesan kalium iodida 5% sampai tidak terbentuk endapan merah. Pencucian dilanjutkan dengan penambahan aquades sampai effluen yang keluar bersifat netral (dites dengan indikator universal).

Penentuan penurunan kapasitas pertukaran ion dilakukan dengan cara, kolom yang telah diregenerasi dialiri perlahan-lahan NaCl jenuh dan dialirkan isi kolom dengan kecepatan konstan 3 mL/menit. Effluen ditampung sampai effluen yang keluar bersifat netral (dites dengan indikator universal). Effluen dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan diencerkan sampai tanda batas dan diambil 25

mL larutan untuk dititrasi dengan NaOH 0,1 M. Perlakuan di atas diulang dengan prosedur yang sama sebanyak enam kali.

3.6.6 Penentuan Laju Alir Optimum Pada Adsorpsi Merkuri(II) oleh Biomassa Enceng Gondok yang terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat dengan Metode Kolom

Sebuah kolom penukar ion yang telah diberi glass wool pada bagian dasarnya diisi dengan 1 gram adsorben kering yang telah dipreparasi, sehingga menjadi adsorben basah sampai homogen. Adsorben yang telah homogen, bagian atasnya dilapisi dengan glass wool kembali. Kolom dialiri dengan HCl 0,01 M sampai effluen bersifat asam dan dicuci dengan aquades sampai netral. Kolom dialiri 100 mL larutan HgCl₂ pH optimum 6 dengan konsentrasi optimum hasil percobaan 3.6.4 di atas, dan dialirkan isi kolom dengan kecepatan konstan 0,5 mL/menit dan kemudian dilanjutkan dengan penambahan aquades hingga effluen yang keluar bebas Hg, yaitu dilakukan uji kualitatif dengan penetesan kalium iodida 5% sampai tidak terbentuk endapan merah. Endapan merah HgI₂ yang didapat dari uji kualitatif tersebut dilarutkan dengan HCl 0,01 M. Effluen ditampung dan dicampur dengan larutan Hg hasil uji kualitatif dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan diencerkan sampai tanda batas untuk dianalisis dengan Spektrometer Serapan Atom (AAS). Perlakuan diulang dengan prosedur yang sama untuk laju alir 1 mL/menit, 2 mL/menit, 3 mL/menit, dan 4 mL/menit, 5 mL/menit dan 6 mL/menit.

3.6.7 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) menggunakan Metode Kolom dan Metode Batch

Percobaan metode kolom dilakukan dengan menyiapkan sebuah kolom penukar ion yang telah diberi glass wool pada bagian dasarnya diisi dengan 1 gram adsorben kering yang telah dipreparasi, sehingga menjadi adsorben basah sampai homogen. Adsorben yang telah homogen, bagian atasnya dilapisi dengan glass wool kembali. Kolom dialiri dengan HCl 0,01 M sampai effluen bersifat asam dan dicuci dengan aquades sampai netral. Kolom dialiri 100 mL larutan HgCl₂ pH optimum 6 dengan konsentrasi di bawah konsentrasi optimum hasil percobaan 3.6.4 yaitu 20 ppm dan dialirkan isi kolom dengan kecepatan konstan 2 mL/menit dan kemudian dilanjutkan dengan penambahan aquades hingga effluen yang keluar bebas Hg, yaitu dilakukan uji kualitatif dengan penetesan kalium iodida 5% sampai tidak terbentuk endapan merah. Endapan merah HgI₂ yang didapat dari uji kualitatif tersebut dilarutkan dengan HCl 0,01 M. Effluen ditampung dan dicampur dengan larutan Hg hasil uji kualitatif dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan diencerkan sampai tanda batas untuk dianalisis dengan Spektrometer Serapan Atom (AAS).

Metode batch dilakukan dengan menginteraksikan 1 gram enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan 100 mL larutan HgCl₂ pH 6 dengan konsentrasi di bawah konsentrasi optimum hasil percobaan 3.6.4 yaitu 20 ppm dan dishaker selama 50 menit dan disaring. Filtrat yang didapatkan dianalisis dengan Spektrometer Serapan Atom (AAS).

3.6.8 Analisis Data

3.6.8.1 Penentuan Kapasitas Pertukaran Ion (Underwood, 2002)

Penentuan kapasitas pertukaran ion ini digunakan untuk menentukan berapa banyak jumlah gugus yang dapat dipertukarkan di dalam kolom untuk setiap gram adsorben enceng gondok kering yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat. Kapasitas pertukaran ion atau kapasitas resin dalam mili-ekuivalen per gram dapat ditentukan dengan rumus:

$$\text{Kapasitas pertukaran ion} = \frac{\text{jumlah (mmol) ion di dalam resin}}{\text{gram resin kering/mL resin basah}}$$

3.6.8.2 Penentuan Kapasitas Adsorpsi (Moret, 2005)

Pada variasi konsentrasi kita dapat mempelajari adsorpsi dengan menentukan kapasitas adsorpsi. Penentuan kapasitas adsorpsi merkuri(II) disajikan dalam bentuk grafik antara variasi konsentrasi Vs kapasitas adsorpsi merkuri(II). Kapasitas adsorpsi merkuri(II) dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{(C_0 - C) \times V}{W}$$

- Dimana:
- q = kapasitas adsorpsi Hg^{2+} (mg/g)
 - C_0 = konsentrasi Hg^{2+} awal (ppm)
 - C = konsentrasi Hg^{2+} sisa (ppm)
 - V = volume larutan total Hg^{2+} (L)
 - W = berat adsorben (biomassa enceng gondok) (g)

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas adsorpsi tersebut, dapat diketahui berapa banyak jumlah adsorbat Hg^{2+} yang mampu diserap oleh adsorben enceng gondok terimmobilisasi, sampai telah terjadi kesetimbangan antara gugus aktif adsorben dengan adsorbat Hg^{2+} yang teradsorpsi, pada variasi konsentrasi 25, 50, 75, 100, 125 dan 150 ppm.

3.6.8.3 Penentuan Perubahan Kapasitas Pertukaran Ion terhadap Regenerasi

Penentuan perubahan kapasitas pertukaran ion disajikan dalam bentuk grafik antara jumlah regenerasi Vs kapasitas pertukaran ion. Kapasitas pertukaran ion ditentukan dengan rumus seperti pada penentuan kapasitas pertukaran ion. Hasil perhitungan yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk mengetahui berapa besar perubahan kapasitas pertukaran ion, dan apakah memang terdapat penurunan secara signifikan setelah kolom tersebut dipakai dan dilakukan proses regenerasi.

3.6.8.4 Penentuan Laju Alir Optimum

Penentuan laju alir optimum adsorpsi merkuri(II) disajikan dalam bentuk grafik antara variasi laju alir Vs kapasitas adsorpsi merkuri(II). Laju alir tersebut diperoleh dari persamaan: $F = V/t$

Di mana: $F =$ laju alir (mL/menit)

$V =$ volume (mL)

$t =$ waktu (menit)

Kapasitas adsorpsi merkuri(II) ditentukan dengan rumus seperti pada penentuan kapasitas adsorpsi 3.6.8.2. Hasil tersebut digunakan untuk mengetahui laju alir optimumnya. Laju alir optimum adalah laju alir yang dibutuhkan oleh adsorben (biomassa enceng gondok terimmobilisasi) untuk mengadorpsi Hg^{2+} dengan metode kolom secara optimal. Laju alir tersebut sangat berpengaruh terhadap besarnya waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat.

3.6.8.5 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Menggunakan Metode Kolom dan Metode Batch

Proses adsorpsi dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu metode kolom dan metode batch. Setiap metode memiliki kelebihan masing-masing dalam penggunaannya, tetapi perlu diketahui bagaimanakah hasil dari proses adsorpsi dengan dua metode tersebut. Kapasitas adsorpsi yang diperoleh dengan metode kolom dan batch, hasilnya dapat dibandingkan. Berdasarkan hasil kapasitas adsorpsi tersebut dapat diketahui metode mana yang lebih baik digunakan dalam proses adsorpsi Hg^{2+} oleh biomassa enceng gondok terimmobilisasi pada matriks polisilikat.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanfaatan sistem adsorpsi untuk pengambilan logam-logam berat telah banyak dilakukan. Pada penelitian ini, metode adsorpsi dilakukan untuk mengadsorpsi logam berat merkuri(II) oleh biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan mengkaji perbandingan metode kolom dan metode batch. Mekanisme adsorpsinya ditinjau dari mekanisme pertukaran kation antara gugus aktif dari biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan ion logam merkuri(II). Immobilisasi enceng gondok pada suatu matriks ini perlu dilakukan, karena enceng gondok mudah terdegradasi oleh mikroba dan akan menggumpal ketika dikemas di dalam kolom, sehingga dapat menyebabkan penyumbatan pada aliran kolom.

Penelitian ini meliputi: penentuan kapasitas pertukaran ion, penentuan kapasitas adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom, penentuan perubahan kapasitas pertukaran ion, penentuan laju alir optimum pada adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom dan penentuan kapasitas adsorpsi merkuri(II) menggunakan metode kolom dan metode batch.

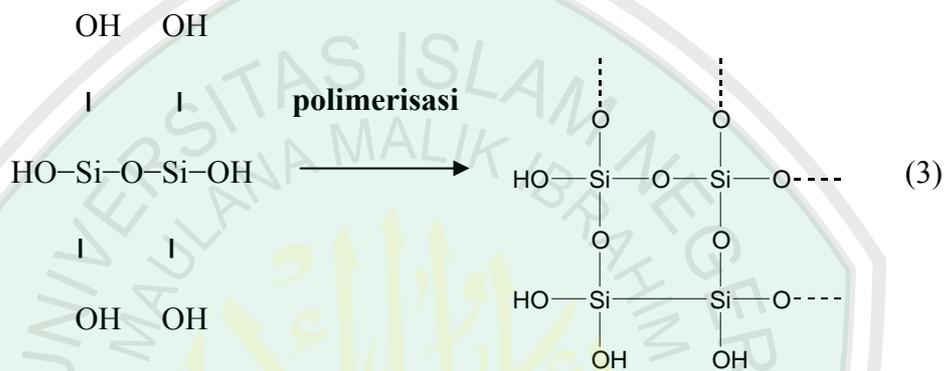
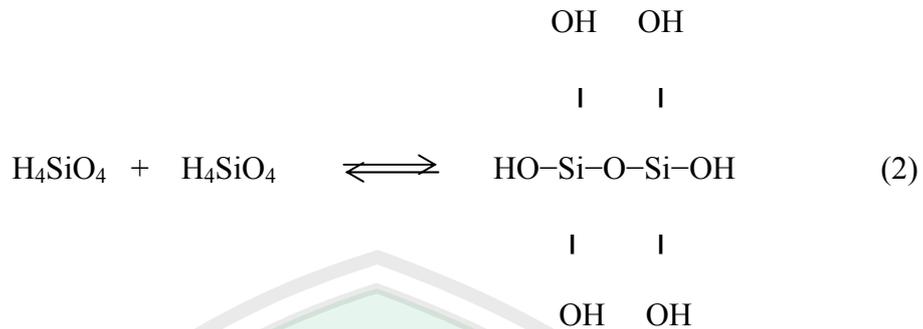
4.1 Preparasi Biomassa Enceng Gondok Yang Diimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat

Tahap awal penelitian ini adalah preparasi biomassa enceng gondok. Tumbuhan enceng gondok dicuci dengan air untuk memisahkan tanah yang menempel. Bagian daunnya dipisahkan dari akar dan batangnya. Daun yang diperoleh dikeringkan dalam oven dengan suhu 90⁰ C untuk menguapkan air yang masih terkandung di dalam daun tersebut, sampai diperoleh berat konstan. Daun yang telah kering kemudian ditumbuk dan disaring dengan ayakan 120-150 mesh, agar diperoleh biomassa dengan ukuran yang sama. Biomassa dicuci dengan cara direndam dalam larutan HCl 0,01 M selama 30 menit. Tujuannya adalah proses aktivasi, yaitu untuk menghilangkan mineral-mineral yang kemungkinan terikat pada biomassa ketika masih hidup. Biomassa kemudian dicuci dengan aquades sampai netral (dicek dengan pH universal) untuk menghilangkan kelebihan asam pada saat aktivasi dilakukan, sampai filtrat yang dihasilkan semula berwarna hijau pekat hingga berwarna jernih. Biomassa kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 50-60⁰ C untuk menghilangkan air sisa dari pencucian tersebut sampai diperoleh berat konstan.

Biomassa hasil preparasi di atas, kemudian diimmobilisasi pada matriks polisilikat. Caranya dengan mengencerkan natrium silikat (Na₂SiO₃) 6% dalam air yang akan didapatkan asam monosilikat (Hennisch, 1988):



Asam monosilikat selanjutnya membentuk polimer hingga diperoleh sistem tiga dimensi dengan rantai Si-O-Si.



Mula-mula 75 mL asam sulfat 5% dicampur dengan natrium silikat sedikit demi sedikit sampai pH 2, karena stabilitas larutan natrium silikat dipengaruhi oleh kondisi keasaman. Larutan asam sulfat yang digunakan tersebut menyebabkan pembentukan gel pada kondisi pH yang sesuai. Pada pH tersebut larutan ditambah 5 gram biomassa enceng gondok dan diaduk dengan magnetik stirer selama 15 menit. Biomassa ini dicampur dengan gel polisilikat pada pH rendah, yang mana pada kondisi pH tersebut gel polisilikat masih sangat lembek, maka dengan pengadukan tersebut dapat diperoleh campuran homogen biomassa-polisilikat. pH campuran biomassa-polisilikat dinaikkan kembali dengan menambahkan natrium silikat sedikit demi sedikit sampai pH 7. Peningkatan pH akan mengeraskan gel polisilikat, sehingga biomassa akan terimmobilisasi di dalam matriks polisilikat (Elviera, 2006). Gel polimer tersebut dicuci dengan

aquadess sampai filtrat tidak membentuk endapan ketika ditetesi dengan larutan barium klorida (BaCl_2). Gel polimer dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C untuk menguapkan kandungan air sehingga gel menyusut dan mengeras. Biomassa yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat kemudian ditumbuk dan diayak dengan ayakan 20-34 mesh untuk mendapatkan ukuran biomassa yang sama.

4.2 Penentuan Kapasitas Pertukaran Ion

Penentuan kapasitas pertukaran ion bertujuan untuk mengetahui berapa besar kapasitas pertukaran ion yang terjadi antara ion-ion aktif, yang diduga adalah ion H^+ di dalam gugus aktif biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan kation lain dalam hal ini ion Na^+ .

Proses pertukaran kation pada penelitian ini dilakukan di dalam sebuah kolom. Kolom yang digunakan adalah buret 25 mL dengan diameter 1 cm. Kolom dipacking dengan 1 gram biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat sampai homogen, yaitu sampai adsorben terlihat merata di dalam kolom sehingga tidak ada rongga-rongga kosong yang belum terisi oleh adsorben. Adsorben biomassa enceng gondok ini sebelumnya telah direndam dengan aquademineral selama satu malam, sampai fasa biomassa berubah menjadi granula-granula dalam bentuk gel yang berwarna hijau tua. Tujuan perendaman adalah untuk memudahkan memasukkan biomassa ke dalam kolom, dan memberikan waktu pengembangan untuk biomassa tersebut. Pada saat preparasi, kolom diketuk perlahan-lahan untuk mencegah terbentuknya gelembung-

gelembung udara, dan untuk menjamin hilangnya gelembung udara yang terbawa masuk serta sisa-sisa partikel halus. Proses ini juga untuk menjamin distribusi yang merata dari granula-granula biomassa enceng gondok. Kolom kemudian dibilas kembali sebelum digunakan sampai effluen yang keruh terlihat jernih (Basset, dkk., 1994), yaitu dengan aquademineral yang dialirkan melalui kolom dengan laju alir 3 mL/menit. Tujuan yang lain dari pembilasan ini adalah untuk melonggarkan susunan granula adsorben dan melayang-layangkan granula tersebut. Pelapisan glass wool di bawah dan di atas adsorben adalah untuk menahan biomassa agar tidak lolos dari kolom, yang dapat menimbulkan penyumbatan pada aliran kolom. Di samping itu agar permukaan adsorben tidak terganggu ketika ditambahkan pelarut atau sampel (Sastrohamidjojo, 1991).

Kolom yang sudah siap, kemudian dialiri dengan HCl 0,01 M sebanyak kurang lebih 25 mL sampai bersifat asam (dicek dengan kertas lakmus biru menjadi merah). Tujuannya adalah proses aktivasi, yaitu suatu proses untuk menaikkan kapasitas pertukaran ion. Pengaktifan disini bertujuan untuk menghilangkan kation-kation lain yang kemungkinan masih terikat pada adsorben ketika proses preparasi kolom dilakukan, sehingga semua gugus kation menjadi seragam karena telah ditukar dengan H^+ . Kolom tersebut kemudian dibilas dengan aquademineral kembali sampai netral (dicek dengan pH universal) untuk menghilangkan HCl berlebih yang ada di dalam kolom.

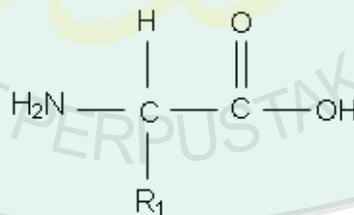
Proses penentuan kapasitas pertukaran ion dilakukan yaitu dengan cara, kolom yang netral berisi adsorben tersebut dialiri NaCl jenuh. Effluen yang keluar dari kolom lama kelamaan bersifat asam (dicek dengan kertas lakmus biru

menjadi merah). Larutan NaCl jenuh terus dialirkan sampai effluen bersifat netral (dicek dengan pH universal), agar semua ion-ion aktif di dalam biomassa semuanya dapat tertukar dengan ion Na⁺. Effluen yang didapat kemudian ditampung sampai 250 mL dengan penambahan aquademineral. Effluen diambil 10 mL dan diencerkan sampai 100 mL untuk dititrasi dengan NaOH 0,1 M dengan indikator pp untuk mengetahui berapa mmol ion Na⁺ yang ditukarkan dengan ion H⁺, sesuai dengan reaksi berikut ini (Vogel, 1990):



Hasil penelitian menunjukkan banyaknya volume NaOH yang dibutuhkan pada saat titrasi adalah 5,5 mL.

Pertukaran kation dari ion Na⁺ ini diduga terjadi pertukaran dengan ion H⁺ yang berasal dari gugus aktif karboksilat (-COOH) yang ada di dalam biomassa daun enceng gondok.

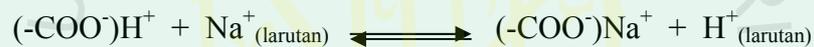


Gambar 4.1 Struktur asam amino

Terbukti pada saat proses pertukaran ion yang dilakukan, ketika kolom netral yang berisi adsorben dialiri dengan NaCl jenuh, effluen yang keluar lama kelamaan bersifat asam. Hal tersebut menunjukkan bahwa ion Na⁺ benar-benar tertukar dengan ion H⁺. Pertukaran ion dapat terjadi karena biomassa sebagai fase

diam mempunyai struktur molekuler yang terbuka dan permeabel (dapat ditembusi), sehingga ion-ion dalam larutan NaCl sebagai fase gerak dapat bergerak keluar masuk. Biomassa enceng gondok ini mengandung ion-ion aktif atau ion-ion lawan yang akan ditukarkan secara reversibel dengan ion Na⁺ yang mengelilinginya (Basset, dkk., 1994).

Gugus aktif pada biomassa yang mengandung ion H⁺ ini dibuat berkontak dengan larutan NaCl yang mengandung ion Na⁺. Kation Na⁺ ini akan berdifusi ke dalam gugus aktif pada struktur biomassa, dan kation H⁺ berdifusi keluar sampai tercapai kesetimbangan (Basset, dkk., 1994), sesuai dengan reaksi berikut ini:



Reaksi pertukaran kation Na⁺ dengan kation H⁺ di dalam resin (Basset, dkk., 1994).

Pada saat pertukaran telah terjadi, maka kesetimbangan telah bergeser dari kiri ke kanan, dimana ion Na⁺ telah lengkap difiksasi (dilekatkan tetap) pada gugus karboksilat. Reaksi kesetimbangan di atas juga menunjukkan bahwa jumlah ion Na⁺ diganti dengan jumlah ion H⁺ yang ekuivalen dengan jumlah ion Na⁺ yang ditukarkan. Jadi meskipun dimasukkan larutan NaCl, larutan yang keluar merupakan suatu asam yang diduga adalah HCl. Jumlah NaCl yang dapat diubah menjadi HCl tergantung pada kapasitas pertukaran ion dan jumlah biomassa enceng gondok yang digunakan.

Kapasitas pertukaran ion total dari biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat bergantung pada jumlah total ion pada

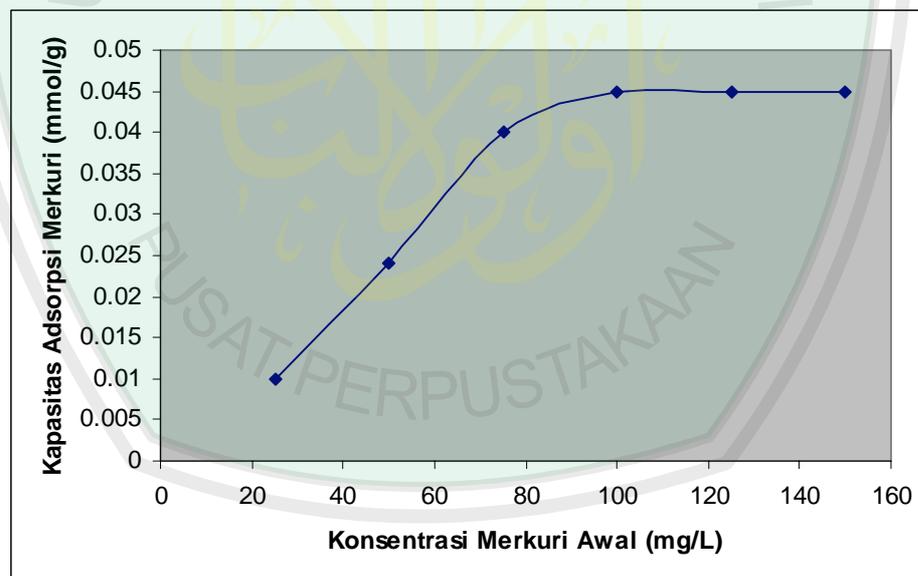
gugus aktif per satuan berat biomassa. Jumlah ion-ion yang semakin banyak, maka kapasitas pertukaran ionnya juga semakin besar. Kapasitas total pertukaran ion ini dinyatakan sebagai mmol per gram adsorben (Underwood, 2002).

Kapasitas pertukaran ion ditentukan dengan menetapkan jumlah mmol ion Na^+ yang diserap oleh 1 gram biomassa daun enceng gondok dalam bentuk hidrogennya. Data hasil perhitungan yang diperoleh dari hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah ion Na^+ yang dapat dipertukarkan dengan ion H^+ sebesar 13,75 mmol per gram adsorben. Biomassa yang masih baru dipreparasi mempunyai nilai kapasitas pertukaran maksimal, karena semua gugus aktif yang ada masih dapat diisi oleh ion Na^+ dalam larutan. Pada saat biomassa ini mencapai batas kapasitas pertukaran, arah reaksinya dapat dibalik yang disebut dengan proses regenerasi atau mengembalikan gugus aktif pada kondisi semula.

4.3 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) oleh Biomassa Enceng Gondok yang terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat dengan Metode Kolom

Kapasitas adsorpsi merupakan nilai dari jumlah adsorbat yang mampu diserap oleh adsorben sampai permukaan adsorben tertutupi oleh adsorbat. Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan adanya pengaruh dari konsentrasi adsorbat. Pada konsentrasi adsorbat yang tinggi, maka kapasitas adsorpsi akan semakin besar sampai adsorben menjadi jenuh, sehingga terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang terserap dengan konsentrasi adsorbat dalam fasa larutan.

Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan dengan memvariasi konsentrasi larutan HgCl_2 sebagai berikut: 25, 50, 75, 100, 125 dan 150 mg/L. Proses adsorpsi dilakukan pada pH 6 dengan laju alir 3 mL/menit. Pada saat proses adsorpsi berlangsung, dengan mengalirkan larutan HgCl_2 effluen yang keluar bersifat asam (dicek dengan pH universal). Merkuri(II) yang tidak terikat oleh biomassa akan lolos sebagai effluen bersama H^+ untuk kemudian dianalisis dengan spektroskopi serapan atom pada panjang gelombang 253,7 nm dengan tipe nyala udara dan asetilen. Kapasitas adsorpsi merkuri(II) ditentukan dengan rumus, seperti yang tertera pada lampiran 4. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan merkuri dengan kapasitas adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) dengan Variasi Konsentrasi

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi merkuri(II) sebesar 9,0937 mg/g atau 0,045 mmol/g pada konsentrasi Hg^{2+} awal 100 mg/L. Pada

grafik di atas konsentrasi di bawah 100 mg/L terus mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena masih terdapatnya ruang-ruang kosong yang terdapat pada permukaan adsorben, yaitu masih tersedianya gugus aktif dari biomassa enceng gondok untuk berikatan dengan ion logam Hg^{2+} . Pada konsentrasi di atas 100 mg/L terjadi sedikit penurunan kapasitas adsorpsi akan tetapi cenderung konstan. Hal ini terjadi karena biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat tidak mampu lagi mengikat ion logam Hg^{2+} dengan baik, yang disebabkan permukaan pada biomassa sudah terisi oleh adsorbat secara maksimal, sampai adsorben menjadi jenuh sehingga terjadi keseimbangan.

Pada penentuan kapasitas pertukaran ion Na^+ dengan gugus aktif di dalam biomassa enceng gondok ini, diperoleh kapasitas pertukaran ion sebesar 13,75 mmol/g adsorben. Pada penentuan kapasitas adsorpsi merkuri(II), jumlah Hg^{2+} yang teradsorpsi sebesar 0,045 mmol/g.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa, kapasitas pertukaran ion Na^+ jumlahnya lebih besar dibandingkan kapasitas adsorpsi dengan Hg^{2+} . Hal ini disebabkan karena kemungkinan gugus aktif di dalam biomassa enceng gondok hanya terdapat satu H^+ , yang mampu ditukarkan dengan suatu kation di dalam larutan. Pertukaran ion merupakan proses kesetimbangan, dan jarang terjadi dengan sempurna. Pertukaran ion ini bersifat stoikiometri, dalam arti satu muatan H^+ akan meninggalkan adsorben untuk satu muatan yang masuk ke dalam adsorben. Ion Hg^{2+} dalam larutan dapat tertukar dengan 2 ion H^+ di dalam gugus aktif biomassa, sehingga kesetimbangannya cenderung bergerak ke arah kiri. Hal tersebut menyebabkan kapasitas pertukaran Hg^{2+} dengan kation di dalam gugus

aktif biomassa lebih kecil dibandingkan dengan ion Na^+ . Di samping itu pengaruh dari pH larutan juga dapat mengakibatkan perbedaan kapasitas pertukaran ion yang terjadi. pH kerja pertukaran dengan Na^+ adalah 7, sedangkan pH kerja pertukaran dengan Hg^{2+} adalah 6. Pada pH larutan netral, gugus karboksilat banyak yang bermuatan negatif. Pada saat pH larutan yang semakin meningkat dapat menyebabkan konsentrasi OH^- akan semakin tinggi, sehingga gugus aktif di dalam biomassa akan semakin terdeprotonasi. Hal tersebut menyebabkan semakin banyak gugus aktif yang bermuatan negatif atau dikatakan semakin bersifat nukleofilik, sehingga kemampuan untuk menarik kation di dalam larutan akan semakin besar.

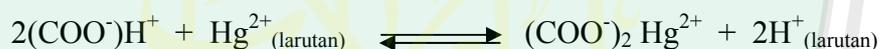
Besarnya kapasitas adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom, hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Khalifah (2008) dengan metode batch. Pada penelitian Khalifah (2008) kapasitas adsorpsi optimum terjadi pada konsentrasi awal Hg^{2+} 80 mg/L, dengan lama pengocokan 60 menit dan Hg^{2+} yang teradsorpsi sebesar 8,019 mg/g. Perbedaan kapasitas adsorpsi tersebut menunjukkan bahwa, adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa kondisi yang berbeda, seperti waktu kontak, jumlah adsorbat yang digunakan, konsentrasi adsorbat dan metode yang digunakan.

4.4 Penentuan Perubahan Kapasitas Pertukaran Ion Terhadap Regenerasi

Penentuan perubahan kapasitas pertukaran ion ini, bertujuan untuk mengetahui berapa besar perubahan kapasitas pertukaran ion yang terjadi di dalam

kolom, antara ion H^+ dalam biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matrik polisilikat dengan ion Na^+ dalam larutan NaCl. Cara untuk mengetahui perubahan kapasitas pertukaran ion tersebut, maka kolom yang telah digunakan untuk mengadsorpsi $HgCl_2$ dengan konsentrasi optimum 100 mg/L, pH 6 sebanyak 100 mL dengan laju alir 3 mL/menit dilakukan proses regenerasi.

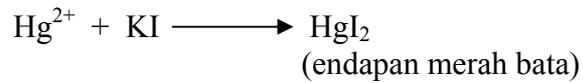
Proses regenerasi adalah proses pengembalian gugus aktif pada biomassa daun enceng gondok ke kondisi semula, sehingga kolom dapat digunakan kembali. Biomassa yang baru dipreparasi mempunyai gugus aktif asli. Pada biomassa gugus aktif $-COOH$ yang mampu ditukarkan adalah H^+ sehingga ketika larutan $HgCl_2$ dilewatkan ke dalam kolom, maka akan terjadi proses pertukaran kation, seperti reaksi berikut ini:



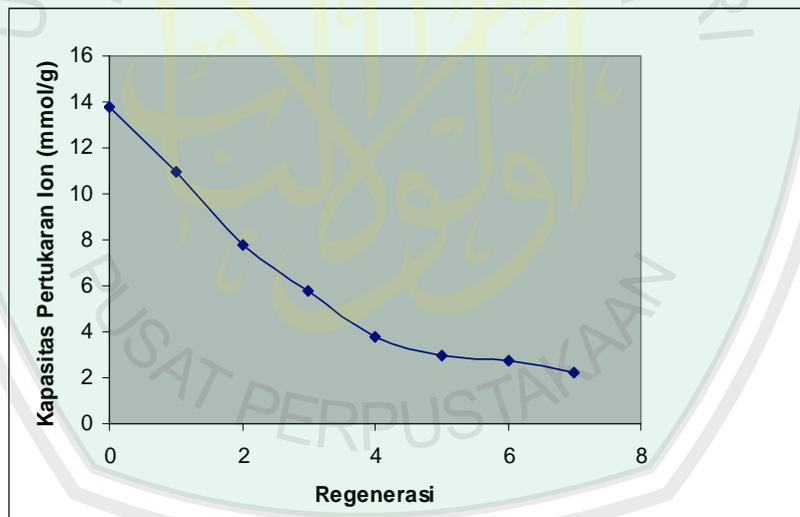
Reaksi ini reversibel, dengan mengalirkan larutan yang mengandung ion-ion H^+ maka ion-ion Hg^{2+} dapat dikeluarkan kembali dari gugus $(COO^-)_2 Hg^{2+}$ sehingga dapat kembali ke bentuk H^+ semula. Proses regenerasi dilakukan untuk mengganti kembali kation yang terikat pada biomassa, dalam hal ini ion Hg^{2+} menjadi gugus H^+ kembali. Caranya dengan mengalirkan larutan HCl 0,1 M sampai kolom bebas Hg, yaitu dilakukan uji kualitatif dengan KI 5%. Pada saat effluen ditetesi dengan KI 5% tidak ada endapan, hal itu menunjukkan bahwa kolom benar-benar telah bebas Hg.



Uji kualitatif dengan larutan KI 5% akan terbentuk reaksi berikut ini (Vogel, 1990):



Regenerasi ini penting dilakukan untuk mengetahui kinerja atau efektifitas dari biomassa daun enceng gondok tersebut. Efektifitas biomassa ini ditentukan oleh kapasitas pertukaran ionnya. Kolom yang telah diregenerasi kemudian dialiri NaCl jenuh kembali, untuk mengetahui berapa besar perubahan kapasitas pertukaran ionnya. Perubahan kapasitas pertukaran ion ditentukan dengan rumus, seperti yang tertera pada lampiran 3. Grafik hubungan antara proses regenerasi yang dilakukan dengan kapasitas pertukaran ion ditunjukkan pada Gambar 4.3.

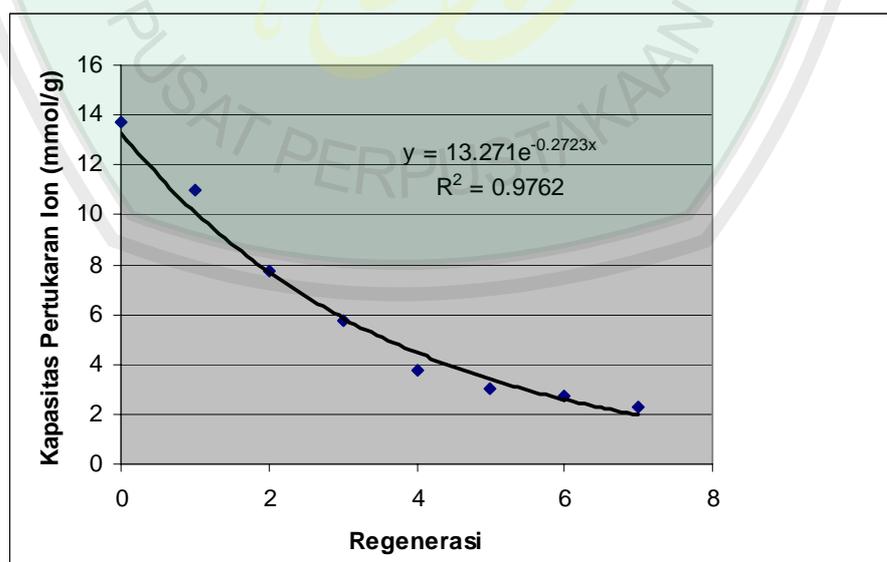


Gambar 4.3 Grafik Perubahan Kapasitas Pertukaran Ion

Gambar 4.3 menunjukkan terjadinya penurunan kapasitas pertukaran ion akibat regenerasi yang dilakukan. Kapasitas pertukaran ion terjadi secara maksimal ketika kolom baru dipreparasi dan belum pernah digunakan, sehingga kemungkinan semua gugus aktif yang ada masih dapat diisi oleh ion Na^+ dalam

larutan sampai terjadi kesetimbangan dengan ion H^+ yang dipertukarkan. Kolom tersebut kemudian digunakan untuk mengadsorpsi larutan $HgCl_2$ 100 mg/L sebanyak 100 mL dan dilakukan regenerasi sampai 7 kali untuk mengembalikan gugus aktif pada biomassa ke kondisi semula. Grafik di atas menunjukkan bahwa kapasitas pertukaran ionnya terus mengalami penurunan. Hal ini dimungkinkan karena sebagian gugus aktif yang sudah terisi oleh ion Hg^{2+} dan Na^+ tidak dapat dilepas pada saat proses regenerasi, sehingga gugus aktif pada biomassa tidak dapat dikembalikan ke kondisi semula secara sempurna. Pada saat regenerasi ke 5, 6 dan 7 kapasitas pertukaran ionnya cenderung konstan. Hal ini dimungkinkan karena telah terjadi kesetimbangan antara kation H^+ di dalam biomassa enceng gondok dengan ion Na^+ di dalam larutan yang ditukarkan.

Hubungan antara jumlah regenerasi dengan kapasitas pertukaran ion dari grafik di atas dapat diperoleh persamaan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Persamaan Antara Kapasitas Pertukaran Ion dengan Proses Regenerasi

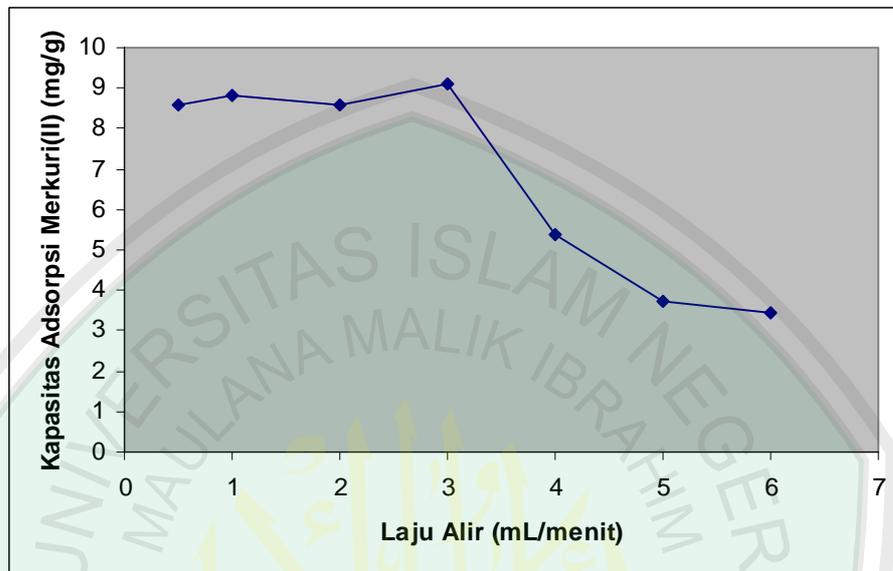
Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, proses regenerasi yang dilakukan berbanding terbalik dengan kapasitas pertukaran ion. Semakin sering proses regenerasi dilakukan, maka kapasitas pertukaran ionnya akan semakin menurun secara eksponensial, dengan mengikuti persamaan $y=13,271e^{-0,2723x}$. y adalah kapasitas pertukaran ion dan x adalah jumlah regenerasi.

4.5 Penentuan Laju Alir Optimum Pada Adsorpsi Merkuri(II) oleh Biomassa Enceng Gondok yang terimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat dengan Metode Kolom

Proses adsorpsi dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah waktu kontak. Besarnya kapasitas adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat tergantung pada besarnya waktu kontak atau laju alirnya. Pengaruh waktu kontak dapat dilihat dari laju alir kolom yang digunakan, dengan menggunakan persamaan $F = V/t$. F = flow (laju alir, mL/menit), V = volume (mL) dan t = waktu (menit). Laju alir yang semakin besar akan menurunkan waktu kontak antara ion logam Hg^{2+} dengan gugus aktif biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat, sehingga kapasitas adsorpsi merkuri(II) menurun.

Penentuan laju alir optimum pada penelitian ini dilakukan pada konsentrasi optimum hasil penentuan kapasitas adsorpsi, yaitu sebesar 100 mg/L dengan pH 6 dan variasi laju alir sebesar 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 mL/menit. Penentuan laju alir optimum adsorpsi merkuri(II) ditentukan dengan rumus,

seperti yang tertera pada lampiran 5. Grafik hubungan antara laju alir kolom dengan kapasitas adsorpsi merkuri(II) ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Penentuan Laju Alir Optimum

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada laju alir di bawah 3 mL/menit kapasitas adsorpsi Hg^{2+} cenderung konstan. Hal ini disebabkan karena laju alir yang semakin kecil tidak akan berpengaruh besar terhadap proses adsorpsi tersebut, sehingga kapasitas adsorpsi merkuri(II) tidak begitu banyak berubah. Laju alir yang kecil berarti memberikan waktu kontak yang cukup besar. Waktu kontak yang semakin besar, maka kapasitas adsorpsi merkuri(II) juga semakin besar pula, sampai dicapai suatu kesetimbangan antara adsorben dan adsorbat. Pada laju alir di atas 3 mL/menit kapasitas adsorpsi Hg^{2+} terus mengalami penurunan dan cenderung konstan. Hal ini disebabkan karena besarnya laju alir dapat menurunkan waktu kontak antara adsorben biomassa enceng gondok yang

terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan adsorbat ion logam Hg^{2+} . Hal tersebut menyebabkan kesempatan biomassa enceng gondok untuk mengadsorpsi ion logam Hg^{2+} lebih banyak menjadi kecil.

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, laju alir optimum adalah laju alir sebesar 3 mL/menit. Laju alir optimum merupakan laju alir terbesar yang masih memberikan nilai kapasitas adsorpsi Hg^{2+} yang terbesar. Selama terjadi kontak antara adsorbat dengan adsorben, maka proses adsorpsi akan terus berlangsung sampai dicapai suatu keseimbangan antara keduanya, yaitu adsorben dan adsorbat. Jika laju alir yang digunakan terlalu kecil, maka waktu kontak yang dihasilkan akan semakin besar, akibatnya kapasitas adsorpsi merkuri(II) akan semakin besar. Pada saat keadaan adsorben dan adsorbat mulai setimbang, maka besarnya waktu kontak ini tidak akan berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi yang dihasilkan. Jika laju alir yang digunakan terlalu besar maka dapat menurunkan waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat. Hal tersebut menyebabkan kapasitas adsorpsi merkuri(II) semakin kecil dan cenderung konstan.

4.6 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Menggunakan Metode Kolom dan Metode Batch

Proses adsorpsi dapat dilakukan dengan dua metode yaitu, metode kolom dan metode batch. Setiap metode memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Pada penelitian ini ingin diketahui metode mana yang dapat memberikan hasil adsorpsi yang terbaik dengan membandingkan kapasitas adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat.

Pada penelitian ini proses adsorpsi dilakukan dengan metode kolom terhadap Hg^{2+} oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat sebanyak 1 gram, dengan konsentrasi awal larutan Hg^{2+} 20 mg/L pada pH 6 dengan laju alir 2 mL/menit. Kapasitas adsorpsi Hg^{2+} yang diperoleh adalah 3,9375 mg/g. Hasil penelitian dengan metode batch pada kondisi yang sama dengan waktu kontak 50 menit kapasitas adsorpsi Hg^{2+} yang diperoleh sebesar 1,775 mg/g. Jadi kapasitas adsorpsi Hg^{2+} dengan metode kolom 2 kali lebih besar dari pada metode batch.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi merkuri(II) dengan metode kolom lebih besar dibandingkan dengan metode batch. Hal ini dimungkinkan karena pada metode kolom, adsorbat tertahan lebih lama di dalam kolom sehingga daya adsorpsinya lebih besar. Adsorben yang paling banyak terpakai adalah adsorben yang terletak pada ujung atas kolom. Adsorben akan bertemu dengan larutan (adsorbat) yang baru, sedangkan adsorbat yang sudah teradsorpsi akan bertemu dengan adsorben yang baru pada saat larutan tersebut bergerak ke bawah melewati kolom, sehingga tersedianya ruang-ruang kosong pada adsorben lebih besar.

Pada metode batch proses adsorpsinya dilakukan dengan cara pengadukan, sehingga jarak antar partikel semakin dekat dan diduga gerakan antar ion Hg^{2+} menjadi acak karena proses turbulensi tersebut. Keadaan itu menyebabkan kerja yang dihasilkan tidak maksimal, sehingga kapasitas adsorpsi Hg^{2+} menjadi kecil

Besarnya kapasitas adsorpsi merkuri(II) dengan metode kolom ini juga dapat ditinjau dari proses preparasinya, yaitu ketika mengemas adsorben ke dalam

kolom. Pada metode kolom sebelum proses adsorpsi dilakukan, terlebih dahulu dilakukan proses aktivasi. Aktivasi adalah proses untuk menaikkan kapasitas adsorpsi untuk memberikan sifat yang diinginkan. Pengaktifan disini bertujuan untuk meningkatkan daya adsorpsinya dengan menghilangkan pengotor-pengotor pada biomassa, karena kemungkinan besar pengotor-pengotor yang masih terikat pada adsorben akan terlepas. Kolom juga dibilas dengan aquademineral sampai effluen benar-benar terlihat jernih untuk menghilangkan sisa-sisa partikel halus dan menjamin distribusi yang merata dari granula-granula adsorben biomassa enceng gondok. Hal tersebut diduga juga menyebabkan kapasitas adsorpsi merkuri(II) hasilnya lebih besar dengan metode kolom dibandingkan dengan metode batch.

4.7 Pemanfaatan Biomassa Tumbuhan Daun Enceng Gondok sebagai Adsorben dalam Upaya Pelestarian Lingkungan Hidup

Hasil penelitian yang mengkaji mengenai proses adsorpsi terhadap merkuri(II) oleh biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom ini, menunjukkan bahwa daun enceng gondok benar-benar dapat digunakan sebagai adsorben. Biomassa ini difungsikan sebagai adsorben yang mampu mengadsorpsi logam-logam berat seperti Hg, Cr, Cu, Cd, Pb dan logam berat yang lain.

Logam merkuri adalah salah satu logam berat sebagai hasil samping dari industri-industri tailing dan beberapa industri kimia, yang menjadi limbah yang cukup berbahaya ketika dibuang ke perairan dan lingkungan sekitar jika tidak dilakukan suatu pengolahan terlebih dahulu. Pada kasus ini biomassa daun enceng

gondok mampu mengadsorpsi Hg^{2+} sebesar 9.09375 (mg/g) dari konsentrasi optimum 100 mg/L. Hal ini membuktikan kebenaran Al-Qur'an dalam surat Al-An'am ayat 95:

إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَىٰ ۗ يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَيُخْرِجُ الْمَيِّتَ مِنَ الْحَيِّ ۗ ذَٰلِكُمْ اللَّهُ فَالِقُ ٱلْحَبِّ وَٱلنَّوَىٰ ۗ فَٱنَّىٰ تُؤْفَكُونَ ﴿٩٥﴾

“Sesungguhnya Allah menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan. Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup. (yang memiliki sifat-sifat) demikian ialah Allah, Maka mengapa kamu masih berpaling?”

Ayat tersebut dengan jelas menyatakan bahwa tumbuh-tumbuhan dan pohon-pohonan, keluar (tumbuh) dari benda mati yaitu berasal dari biji dan butir. Biji dan butir tersebut keluar (tumbuh) dari yang hidup, yaitu tumbuh-tumbuhan dan pohon-pohonan. Demikian juga dengan hewan seperti ayam yang keluar dari telur, sedangkan telur keluar dari ayam. Tumbuhan yang telah mati juga dapat dimanfaatkan kembali untuk sesuatu yang lebih berguna (Jauhari, 1984), dalam hal ini dijadikan sebagai biomassa. Hal tersebut yang semuanya adalah termasuk ilmu pengetahuan, tinggal bagaimana manusia menggunakan, memanfaatkan dan mengkaji fenomena alam yang terjadi.

Biomassa adalah bahan yang berasal dari zat-zat organik yang dapat diperbaharui dan dari makhluk hidup baik hewan maupun tumbuhan (shofia, 2006). Biomassa yang berasal dari tumbuhan enceng gondok yang telah mati dapat digunakan untuk penyerapan limbah yang mengandung logam berat, khususnya merkuri.

Enceng gondok adalah salah satu tumbuhan yang hidup di air. Pada awalnya enceng gondok dikenal sebagai tanaman (gulma) pengganggu, tetapi Allah tidak menciptakan segala sesuatu dengan sia-sia, seperti dalam Al-Qur'an surat Shaad ayat 27 yang berbunyi :

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَطْلًا

“Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya dengan sia-sia (tanpa hikmah)”.

Ayat tersebut menyatakan bahwa, segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah adalah tanpa sia-sia. Baik itu tumbuh-tumbuhan dan lain sebagainya yang bisa dimanfaatkan oleh setiap makhluknya, untuk bisa dijadikan sebagai bahan renungan bagi makhluknya khususnya manusia.

Terbukti pada tumbuhan enceng gondok, ketika dalam keadaan hidup mampu mengakumulasi atau menghilangkan polutan secara aktif yang ada di lingkungan perairan disekitar berkembangnya populasi enceng gondok tersebut. Ketika enceng gondok dalam keadaan mati dapat dimanfaatkan sebagai biomassa (adsorben) yang mampu menyerap limbah-limbah yang mengandung logam berat secara pasif.

Setiap bagian dari enceng gondok dapat dimanfaatkan untuk banyak hal baik daun, batang, dan akarnya. Semua bagian tersebut dapat digunakan sebagai biomassa, tetapi pada penelitian ini lebih cenderung untuk memilih bagian daunnya. Daun adalah gudangnya kloroplas yang berfungsi untuk mengadakan fotosintesis, mengurangi transpirasi dan mengatur pertukaran gas. Jadi cadangan makanan lebih banyak terdapat di daun, oleh sebab itu mengapa daun menjadi

suatu pilihan sebagai adsorben yang kemungkinan besar situs-situs aktif yang diharapkan mampu menyerap logam berat itu lebih banyak terdapat pada daun.

Allah menciptakan bumi (alam) ini sebagai media kehidupan, dan diciptakan alam ini dengan segala isi dan perniknya adalah agar semuanya bisa dijadikan bahan renungan bagi setiap umatnya. Salah satunya adalah tumbuhan enceng gondok yang dapat dijadikan suatu bahan penelitian untuk menjaga dan melestarikan alam semesta. Salah satu tugas manusia sebagai makhluk yang paling sempurna dengan anugrah akal yang diberikan oleh Allah adalah berpikir. Orang-orang yang berpikir ialah orang yang mau memperhatikan dan menyelidiki kejadian langit dan bumi, sebagaimana disebutkan dalam Al-Qur'an Surat Al-Jaatsiyah ayat 13:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُۥٓ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لٰٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ
يَتَفَكَّرُوْنَ ﴿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”.

Manusia merupakan salah satu di antara unsur-unsur lingkungan hidup yang mempunyai posisi sentral dan dominan, artinya manusia dengan segala kelebihan yang dimiliki dibandingkan dengan makhluk yang lain, yaitu akal. Melalui akal tersebut manusia diberi kesempatan dan kemampuan untuk melakukan pengamatan (observasi), memikirkan dan mengadakan penelitian serta

kajian terhadap fenomena-fenomena alam sebagai pengejawantahan kebesaran Tuhan.

Keseimbangan tersebut harus terjadi di setiap dimensi kehidupan. Ketika terjadi kerusakan alam harus diimbangi dengan perbaikan dan tentunya dengan pelestariannya. Sebagai seorang Saintis modern yang hidup di era globalisasi seperti sekarang ini dengan segala kemajuan dan kecanggihan teknologi juga harus lebih peka terhadap fenomena alam yang terjadi. Sedangkan bagaimana caranya untuk meminimalisir gangguan alam sebagai akibat dari kebutuhan manusia yang semakin meningkat, yaitu dengan menelaah dan mengkaji metode-metode pengolahan limbah yang lebih efisien, ekonomis dan sederhana, seperti yang sudah dijelaskan di atas yaitu pemanfaatan tumbuhan daun enceng gondok sebagai adsorben dengan metode kolom.

Al-Qur'an hanya memberikan dasar, prinsip dan pokok-pokok ajaran yang dapat memberikan motivasi atau mendorong manusia untuk melakukan kegiatan dan perbuatan yang positif (konstruktif). Bentuk, cara dan teknik yang digunakan sepenuhnya diserahkan kepada manusia untuk memikirkannya sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Penggunaan metode kolom dalam penelitian ini adalah salah satu bentuk aplikasinya, dengan tujuan agar biomassa dapat digunakan secara berulang-ulang sehingga tidak menjadi sia-sia (mubadzir). Proses regenerasi adalah salah satu cara yang dapat digunakan, yaitu pengembalian gugus pada kondisi semula karena pastinya yang menjadi tujuan utama adalah pemanfaatan biomassa daun enceng gondok sebaik-baiknya tanpa mengurangi nilai dari fungsi biomassa itu sendiri.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Kapasitas pertukaran ion oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks pilisilikat dengan kation Na^+ sebesar 13,75 mmol per gram adsorben.
2. Perubahan kapasitas pertukaran ion terhadap jumlah regenerasi menunjukkan kecenderungan penurunan secara eksponensial, sesuai persamaan $y = 13,271e^{-0,2723x}$, y adalah kapasitas pertukaran ion dan x adalah jumlah regenerasi
3. Kapasitas adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks pilisilikat adalah 9,0937 mg/g adsorben, dengan konsentrasi awal Hg^{2+} 100 mg/L.
4. Laju alir optimum adsorpsi merkuri(II) oleh biomassa enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks pilisilikat adalah 3 mL/menit, dengan konsentrasi optimum 100 mg/L.
5. Kapasitas adsorpsi merkuri(II) dengan metode kolom lebih besar dibandingkan dengan metode batch, yaitu kapasitas adsorpsi merkuri(II) melalui metode kolom 2 kali lebih besar dari metode batch.

5.2 Saran

5.2.1 Untuk Peneliti

Dalam penelitian ini masih diperlukan penelitian lanjutan mengenai:

1. Penentuan recovery merkuri(II) oleh biomassa daun enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat dengan metode kolom.
2. Penentuan konsentrasi optimum larutan HCl untuk proses regenerasi.
3. Penentuan kapasitas adsorpsi dengan variasi bed volume larutan HgCl₂.

5.2.2 Untuk Masyarakat

1. Pengembangan penumbuhan enceng gondok di perairan yang dekat dengan pembuangan limbah industri.
2. Pemanenan enceng gondok agar populasinya dapat dibatasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-ayubi, M.C., 2007, *Skripsi Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri(II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (Eichornia Crassipes)*, Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri, Malang
- Alfian, Z., 2006, *Merkuri Antara Manfaat Dan Efek Penggunaannya Bagi Kesehatan Manusia Dan Lingkungannya*, Universitas Sumatera Utara Repository
- Anonymous, 1996, <http://www.malang.ac.id/jurnal/fmipa/kim/1996a.htm>, diakses tanggal 12 September 2007
- Basset, J., Denney, R.C., Jeffrey, G.H dan Mendham, J., Alih Bahasa Dr. A. Hadyana Pudjatmaka dan Ir. L. Setiono, 1994, *Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta
- Budiono, A., 2003, *Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air*, Program Pasca Sarjana IPB, Bogor
- Brij, D. dan K.P., Sarma, 1981, *Water Hyacinth (Eichornia crassipes (Mart.) Solm.) The Most Trouble Oweed On The World*, Hindiasia Publisher, India
- Day, R.A. dan Underwood, 2002, *Analisis Kimia Kuantitatif*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Dewi, D.C., 2005, *Kimia Analitik Teori Dasar dan Penerapannya Jilid I*, Universitas Islam Negeri, Malang
- Dewi, R., 2006, *Adsorpsi Nikel (II) Menggunakan Biomassa Daun Rumpun Gajah (Pennisetum Purpureum schumacher)*, Jurusan Kimia Universitas Brawijaya, Malang
- Elviera, L., 2006, *Studi Kemampuan Adsorpsi Silika Gel Hasil Sintesis dari Natrium Silikat terhadap Kromium(VI)*, Skripsi Universitas Brawijaya, Malang
- Gamez, G., Doken, K., Tieman, J and Herrera, I., 1999, *Spectroscopy Studies of Gold(III) Binding to Alfalfa Biomass*, Proceeding of the 1999 Conference on Hazardous Waste Research
- Gani, B.A dan Chatibul, U., 1986, *Beberapa Aspek Ilmiah tentang Qur'an*, Penerbit Litera Antar Nusa, Jakarta

- Gardea-Torresdey, J.L., Tieman, J.H. Gonzales, J.A., Henning and M.S.Towsend, 1998, *Removal Of Copper Ions From Solution By Silica-Immobilized Medicago Sativa (Alfalfa)*, Departement Of Chemistry, University of Texas at El Paso
- Gritter, R.J., James M. Bobbitt dan Arthur E. Schwarting, 1991, *Pengantar Kromatografi Edisi Kedua*, Penerbit ITB, Bandung
- Hennisch, H.K., 1988, "Crystals in Gels And Lisegang Rings", Press Syndicate of the University of Cambridge, Melbourne
- Jauhari, T., Alih Bahasa Drs. Mochamadiyah Ja'far, 1984, *Qur'an dan Ilmu Pengetahuan Modern*, Penerbit Al-Ikhlash, Surabaya
- Johson, E.L dan Robert, S., 1991, *Dasar Kromatografi Cair*, Penerbit ITB, Bandung
- Kaye, G.W.C and Laby, T.H., 1973, *Tables of Phisical and Chemical Constans*, Longman, London and Tokyo
- Khalifah, S.N., 2007, *Skripsi Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri(II) Pada Biomassa Daun Enceng Gondok (Eichornia Crassipes) Yang Diimmobilisasi Pada Matriks Polisilikat*, Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri, Malang
- Khopkar, 2003, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta
- Kirk and Othmer, 1981, *Encyclopedia Of Chemical Technology, 3rd Ed., Vol.24*, John Wiley And Sons New York
- Kusuma, E.D., 2002, *Kajian Kinetika Adsorpsi Pada Tanah Pertanian Kaolit Sukamandi Jawa Barat*, FMIPA, Yogyakarta
- Manahan, S.E., 1992, *Toxicological Chemistry*, Lewis Publisher, Boca Raton Ann Arbor, London Tokyo
- Martaningtyas, D., 2002, *Bahaya Cemaran Logam Berat*, Pikiran Rakyat Cyber Media EDISI 2003-2004, Bandung
- Martaningtyas, D., 2006, *Logam Berat Merkuri*, Pikiran Rakyat Cyber Media EDISI 2006, Bandung
- Matsna, M., 1996, *Qur'an Hadits*, Penerbit Karya Toha Putra, Semarang

- Moenandir, J., 1990, *Pengendalian Gulma (Ilmu Gulma–Buku I) Universitas Brawijaya*, Rajawali Pers, Jakarta
- Moret, A and J. Rubio, 2005, *Sulphat Ions Uptake by Chitin-Based Shrimp Wasted Shells*, Departamento de Engenharia de Minas-Laboratorio de Tecnologia Minerale Ambiental-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha 99/512, (<http://www.lapes.ufrgs.br/Laboratorios/itm.html>, diakses 23 Oktober, 2007)
- Neis, U., 1993, *Memanfaatkan Air Limbah*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta
- Oscik, J., 1991, *Adsorbtion, Edition Cooper*, I.L., John Wiley and Sons, New York.
- Palar, H., 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta
- Parker, S.P., 1984, *Encyclopedia Of Science And Technology*, Mc Graw-Hill Book Company, New York
- Raya, I., 1998, *A kinetic study of aluminium (III) And Chromium (III) Adsorption by silica Gel Chaetoceros calcitrans Biomass Immobilized On Silica Gel*, Indonesian Journal Of Chemistry
- Respati, IR., 1992, *Dasar-dasar Ilmu Kimia*, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta
- Rousseau, R.W., 1987, *Handbook Of Separation Process Technology*, John Wiley And Sons Inc. United States
- Saleh, N., 2004, *Studi Interaksi Antara Humin dan Logam Cu (II) Dan Cr (II) dalam Medium Air*, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta
- Sastrohamidjojo, H., 1991, *Spektroskopi*, Penerbit Liberty, Yogyakarta
- Sawyer, C.N and Mc Carty, P.L., 1987, *Chemistry for Engineering*, 3rd Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York
- Setiawan, H., 2005, *Adsorpsi Kromium(III) dalam Larutan oleh Biomassa Akar Rumput Gajah*, Jurusan Kimia Universitas Brawijaya, Malang
- Shofia, F., 2006, *Pengaruh pH Larutan dan Lama Pengocokan Terhadap Adsorpsi Timbal (II) oleh Biomassa Daun Rumput Gajah*, Universitas Brawijaya, Malang

- Soedibyo, 1989, *Pengolahan Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Cara Koagulasi, Karbon Aktif Dan Enceng Gondok Serta Uji Toksisitasnya Terhadap Ikan. Usulan Penelitian Thesis S-2 Pasca Sarjana Biologi, Jurusan MIPA, Fakultas Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*
- Sudarmaji dan Yudhastuti, R., 2005, *Pencemaran Logam Berat di Kali Surabaya dan Dampaknya Pada Kesehatan Masyarakat, disampaikan pada Seminar Nasional Kimia Lingkungan VII, FMIPA UNAIR, Surabaya*
- Sugiyarto, K.H., 2004, *Kimia Anorganik II*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
- Suhendrayatna, 2001, *Heavy Metal Bioremoval By Microorganism: A literature Study*, Institute For Science and Technology Studies Japan, www.istecs.org/Publications/Japan
- Supriyanto, H dan Sipon M., 1999, *Kajian Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Industri dan Penyelamatan Lingkungan Hidup di Daerah Perairan*, Fakultas Kehutanan Mulawarman, Samarinda
- Vogel, 1990, *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*, Penerbit Kalman Media Pusaka, Jakarta

Lampiran 1 Preparasi Larutan

L.1 .1 Perhitungan Preparasi Larutan

L.1.1.1 Larutan HCl 0,1 M

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

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

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

$$\text{Volume HCl} = \frac{\text{massa}}{\% \text{ xbj}} = \frac{1,823}{0,37 \times 1,19} = 4,1 \text{ mL}$$

L.1.1.2 Larutan HCl 0,01 M

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

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

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

$$\text{Volume HCl} = \frac{\text{massa}}{\% \text{ xbj}} = \frac{0,1823}{0,37 \times 1,19} = 0,41 \text{ mL}$$

L.1.1.3 Larutan Asam Sulfat 5 %

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

Diketahui: asam sulfat yang dipakai adalah 98 %

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

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

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

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

L.1.1.4 Natrium Silikat 6 %

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

Diketahui: natrium silikat yang dipakai adalah 99 %

$$\text{Maka, } M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

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

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

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

L.1.1.5 Larutan NaOH 0,1 M

Untuk membuat larutan NaOH 1 M sebanyak 1000 mL adalah:

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

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= n \times M_r \\ &= 0,1 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 4 \text{ gram} \end{aligned}$$

L.1.1.6 Larutan Baku Hg (II) 1000 ppm (mg/l)

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

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

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

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

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

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

L.1.1.7 Larutan HNO₃ 1 M

Untuk membuat larutan HNO₃ 1 M sebanyak 500 mL adalah:

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

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

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{massa}}{\% \text{ x bj}} = \frac{31,5}{0,65 \times 0,37} = 31,74 \text{ mL}$$

L.1.2 Pembuatan Larutan

L.1.2.1 Larutan HCl 0,1 M

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

L.1.2.2 Larutan HNO₃ 1 M

HNO₃ pekat (65 %, bj= 0,37 g/mL) dipipet 31,74 mL dan dimasukkan dalam labu takar 500 mL yang telah diisi aquademineral seperempat bagian, kemudian diencerkan dengan aquademineral sampai tanda batas

L.1.2.3 Larutan NaOH 0,1 M

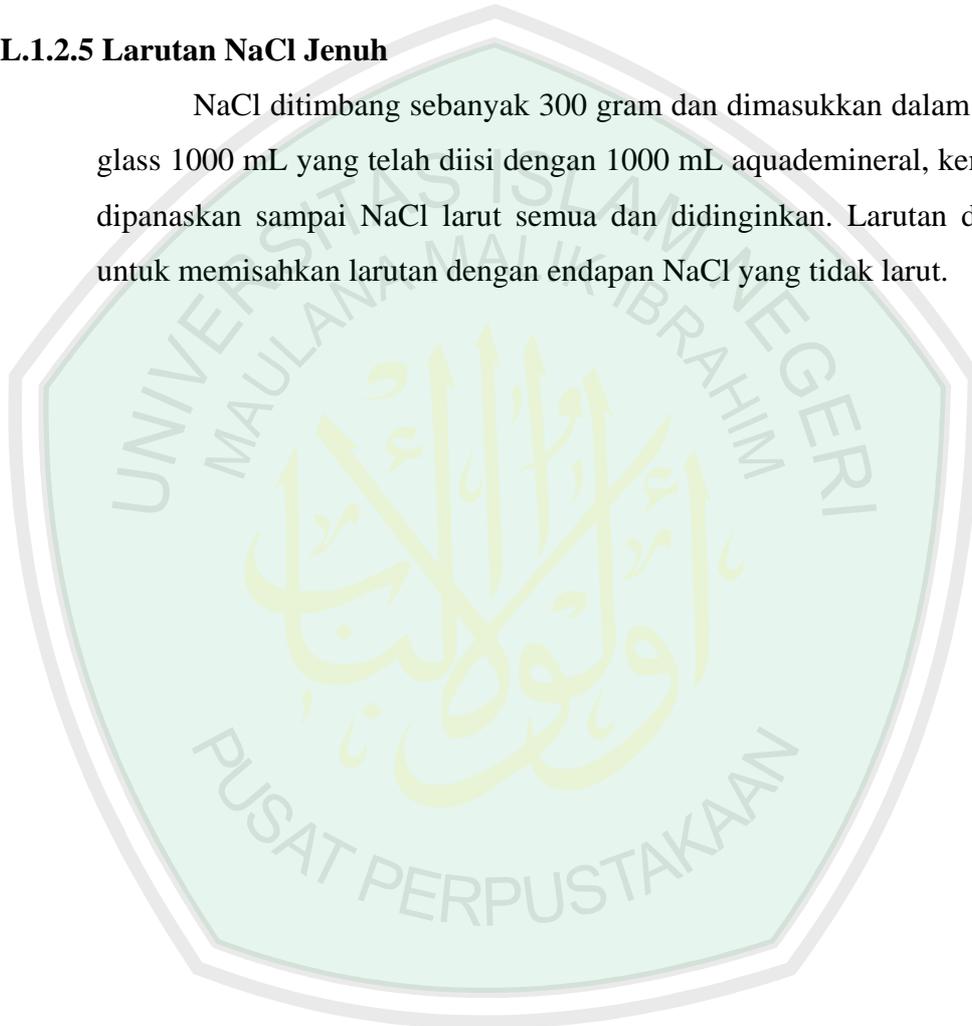
NaOH ditimbang 4 gram dalam gelas beaker, dilarutkan dalam labu takar 1000 mL, kemudian diencerkan dengan aquademineral sampai tanda batas.

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.

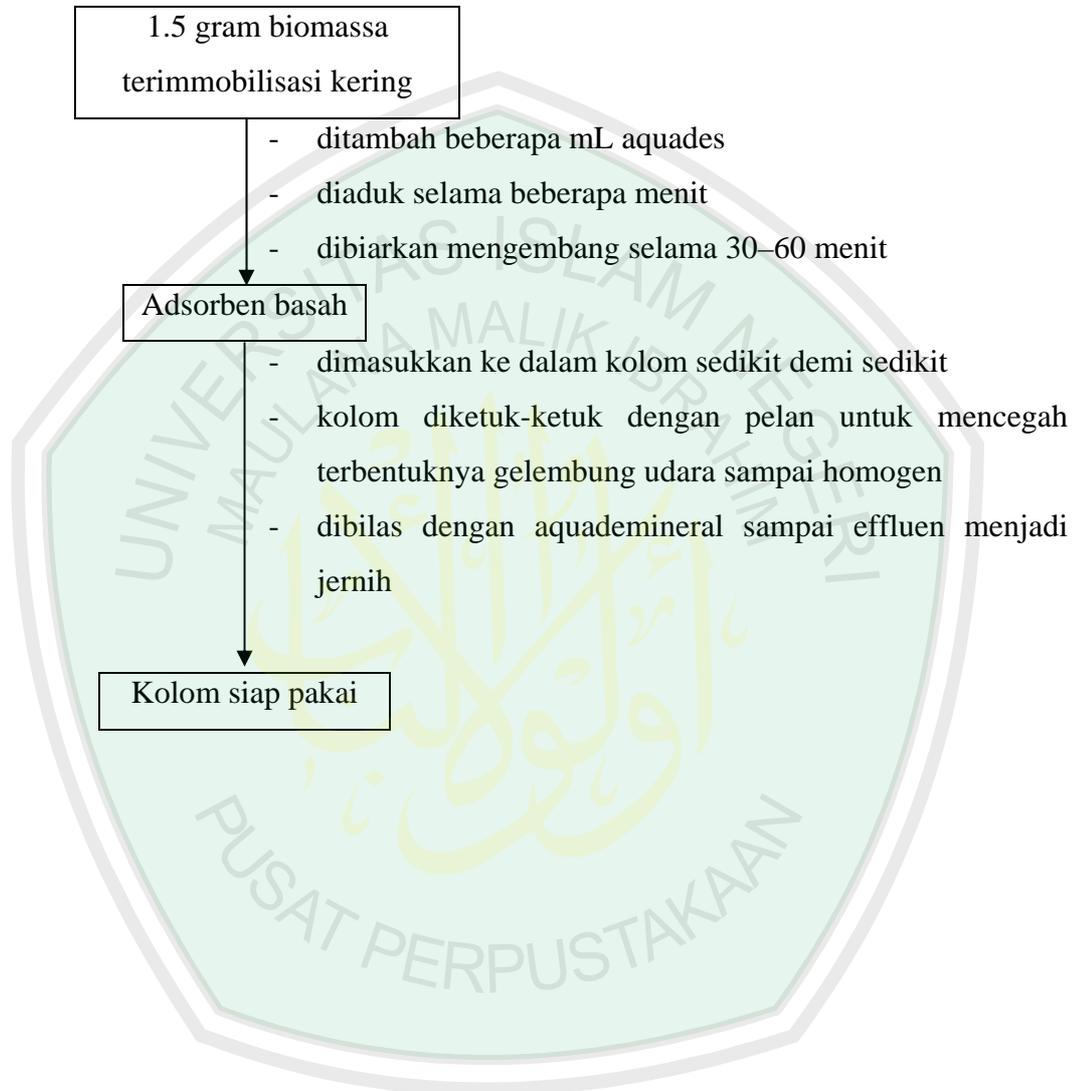
L.1.2.5 Larutan NaCl Jenuh

NaCl ditimbang sebanyak 300 gram dan dimasukkan dalam beaker glass 1000 mL yang telah diisi dengan 1000 mL aquademineral, kemudian dipanaskan sampai NaCl larut semua dan didinginkan. Larutan disaring untuk memisahkan larutan dengan endapan NaCl yang tidak larut.

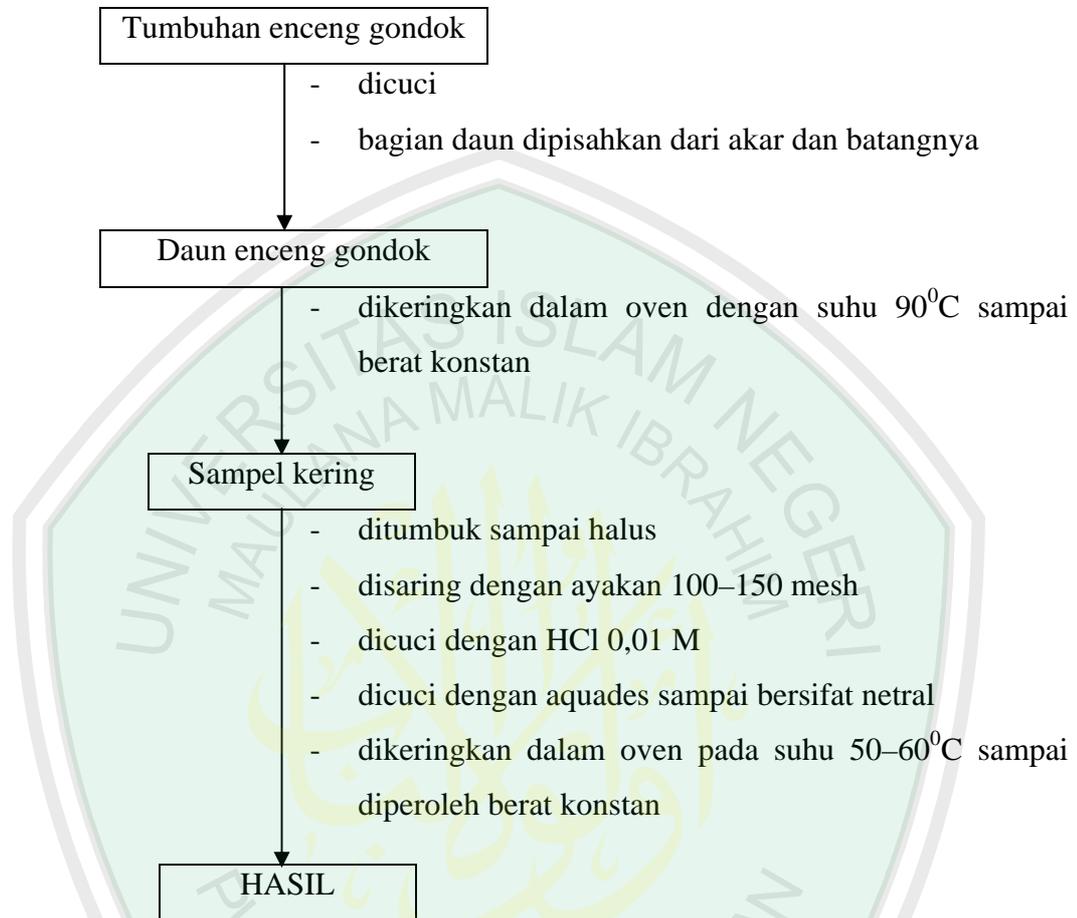


Lampiran 2. Skema Kerja

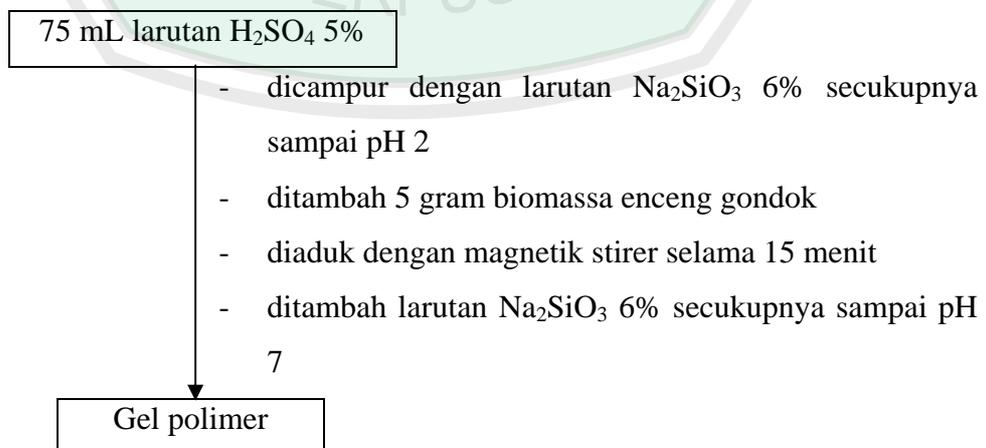
L.2.1 Preparasi Biomassa Enceng Gondok Terimmobilisasi dalam Kolom

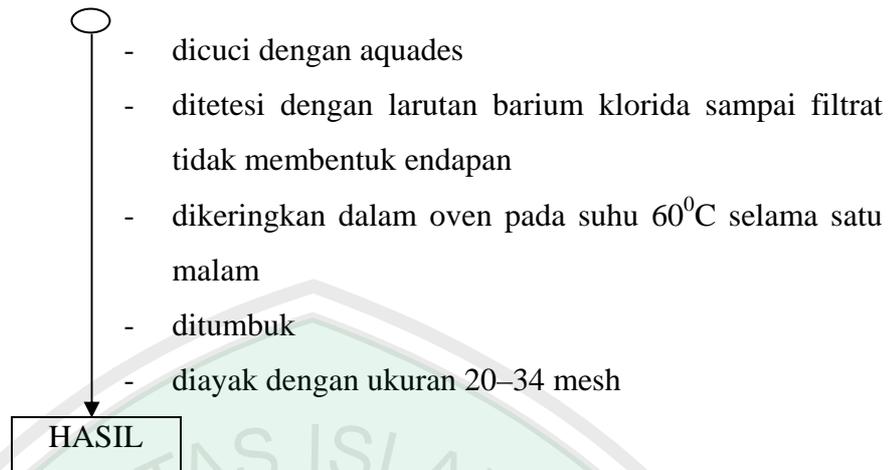


L.2.2 Preparasi Biomassa Enceng Gondok



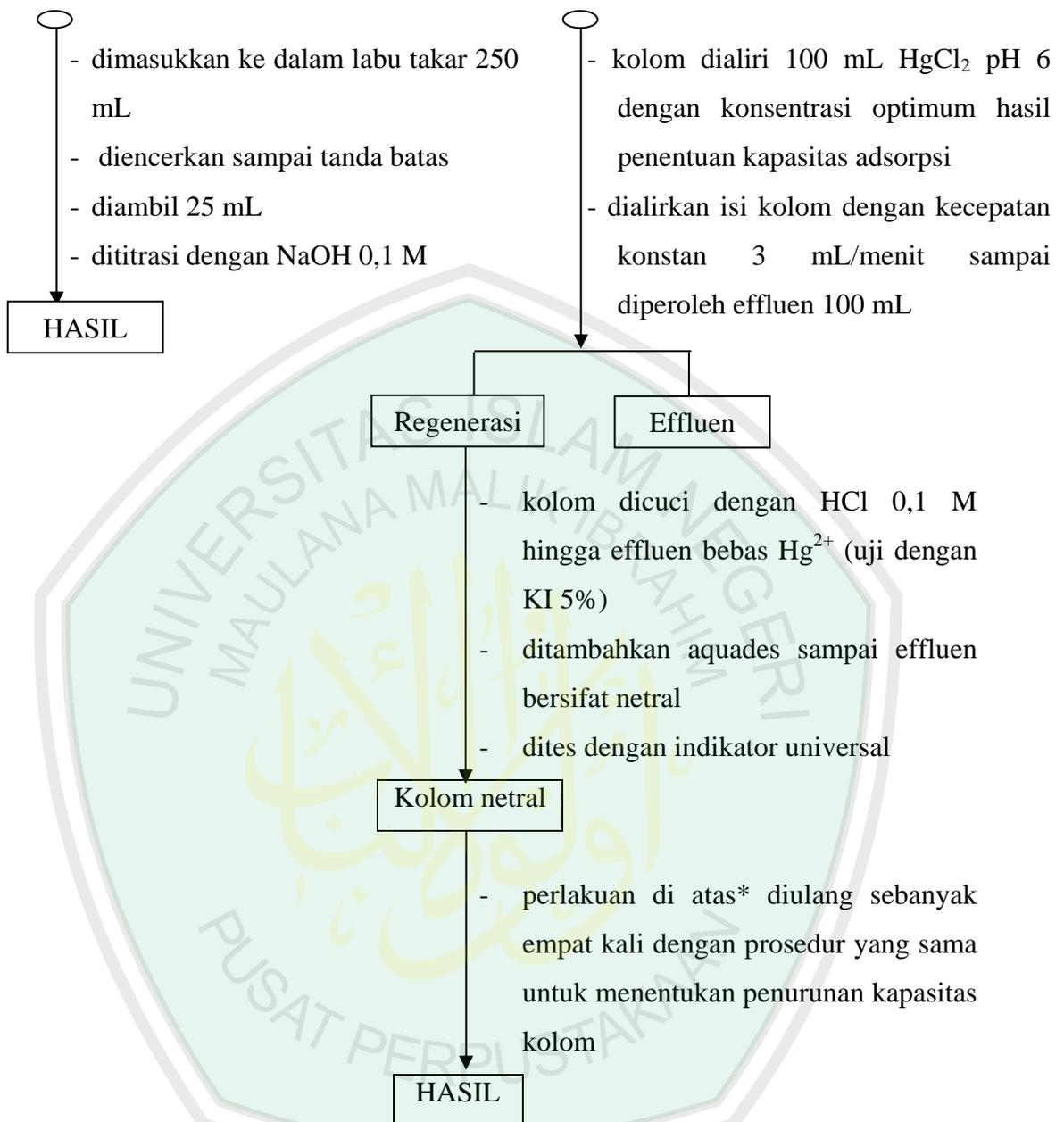
L.2.3 Immobilisasi Biomassa pada Polisilikat





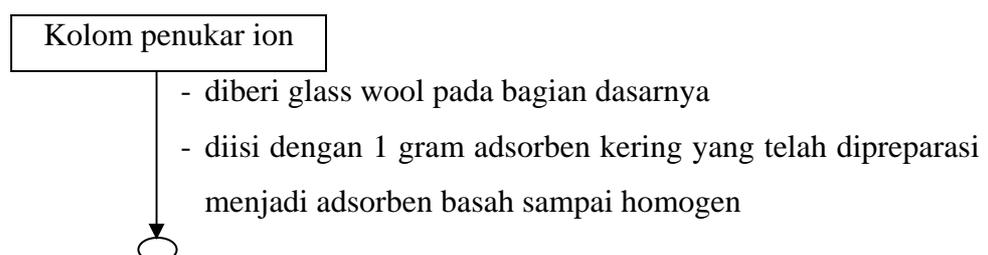
L.2.4 Penentuan Kapasitas Pertukaran Ion dan Perubahannya

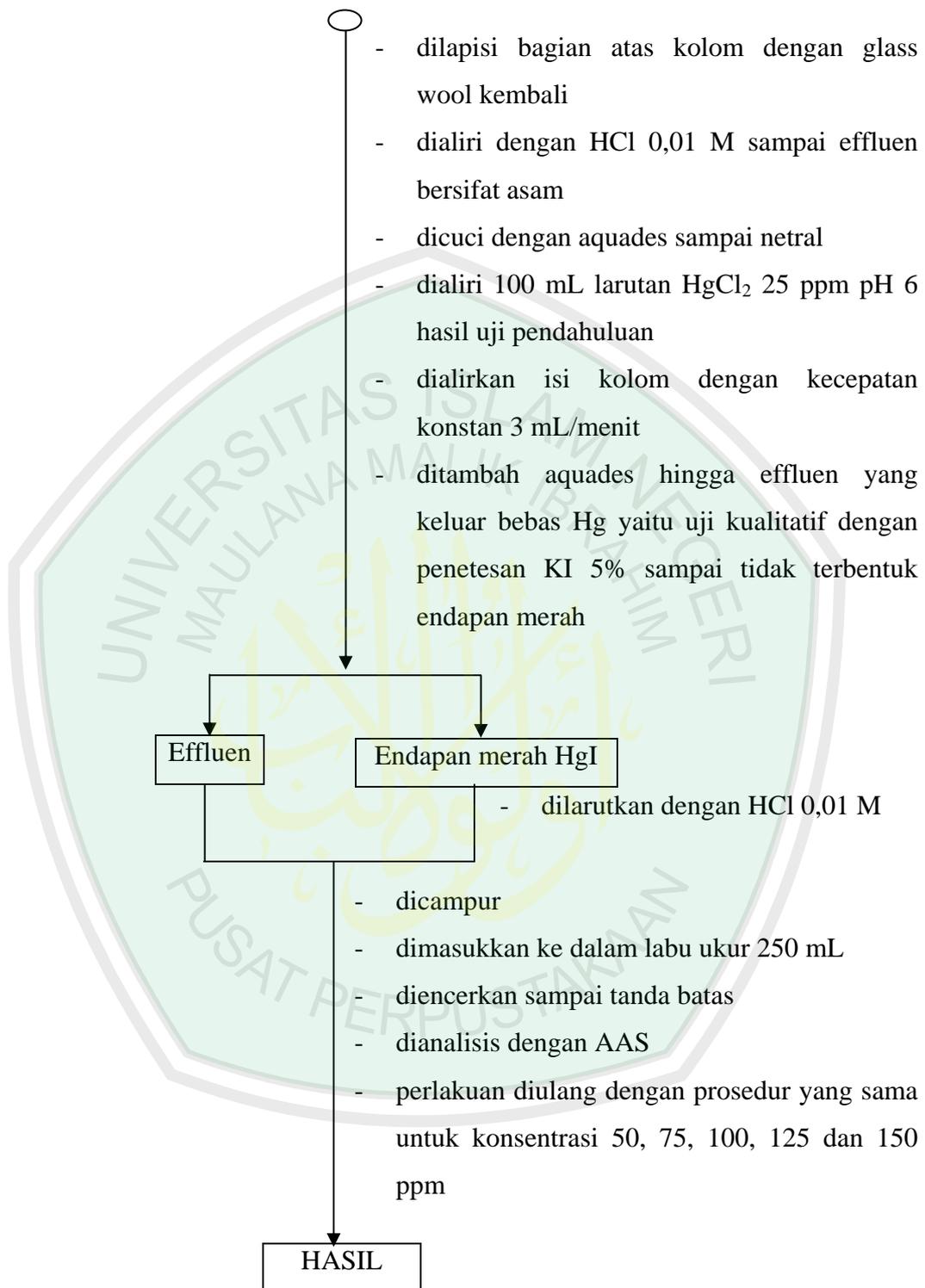




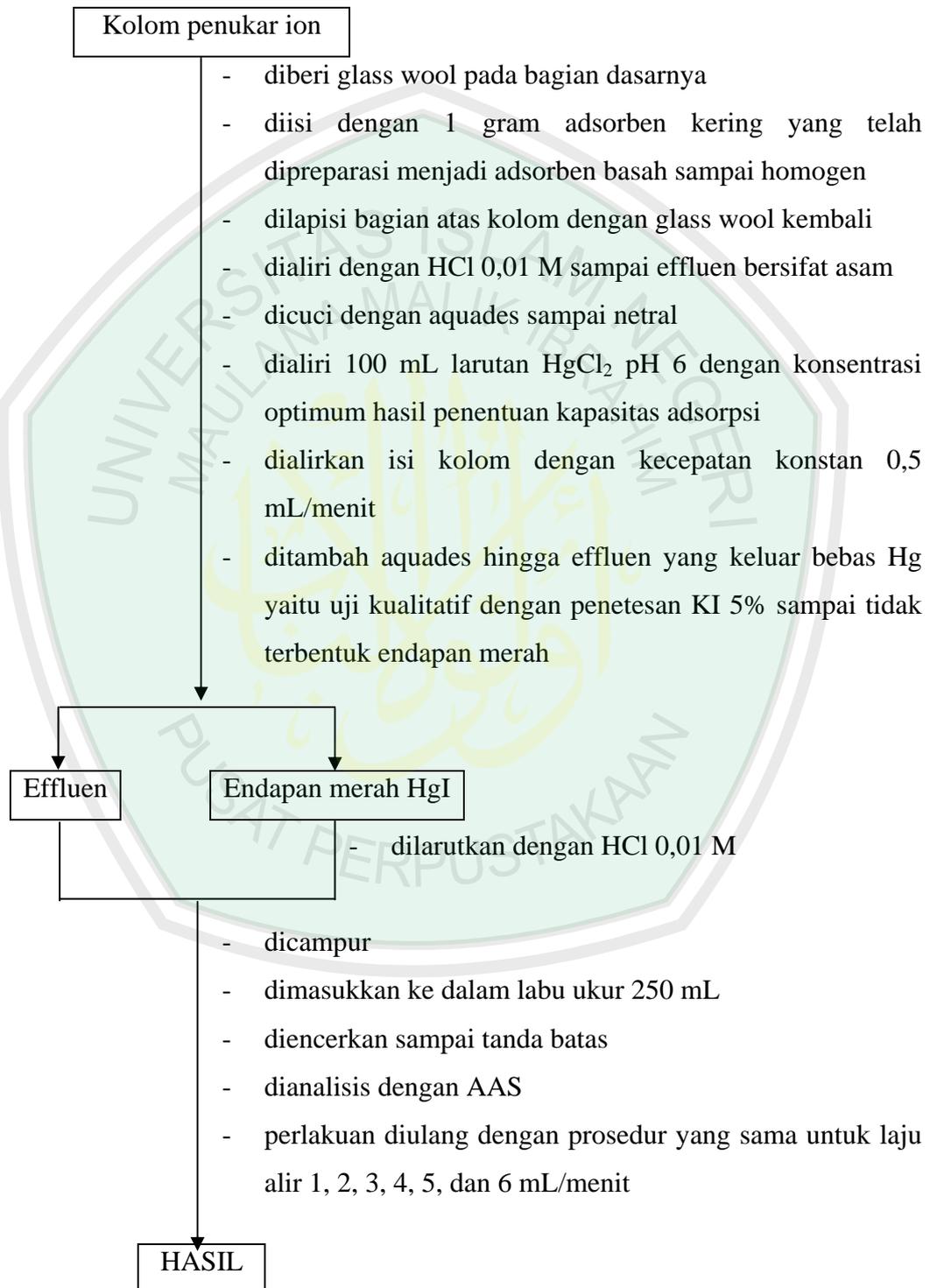
Keterangan: * = pengulangan perlakuan

L.2.5 Penentuan Kapasitas adsorpsi Merkuri(II) yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dengan Metode Kolom



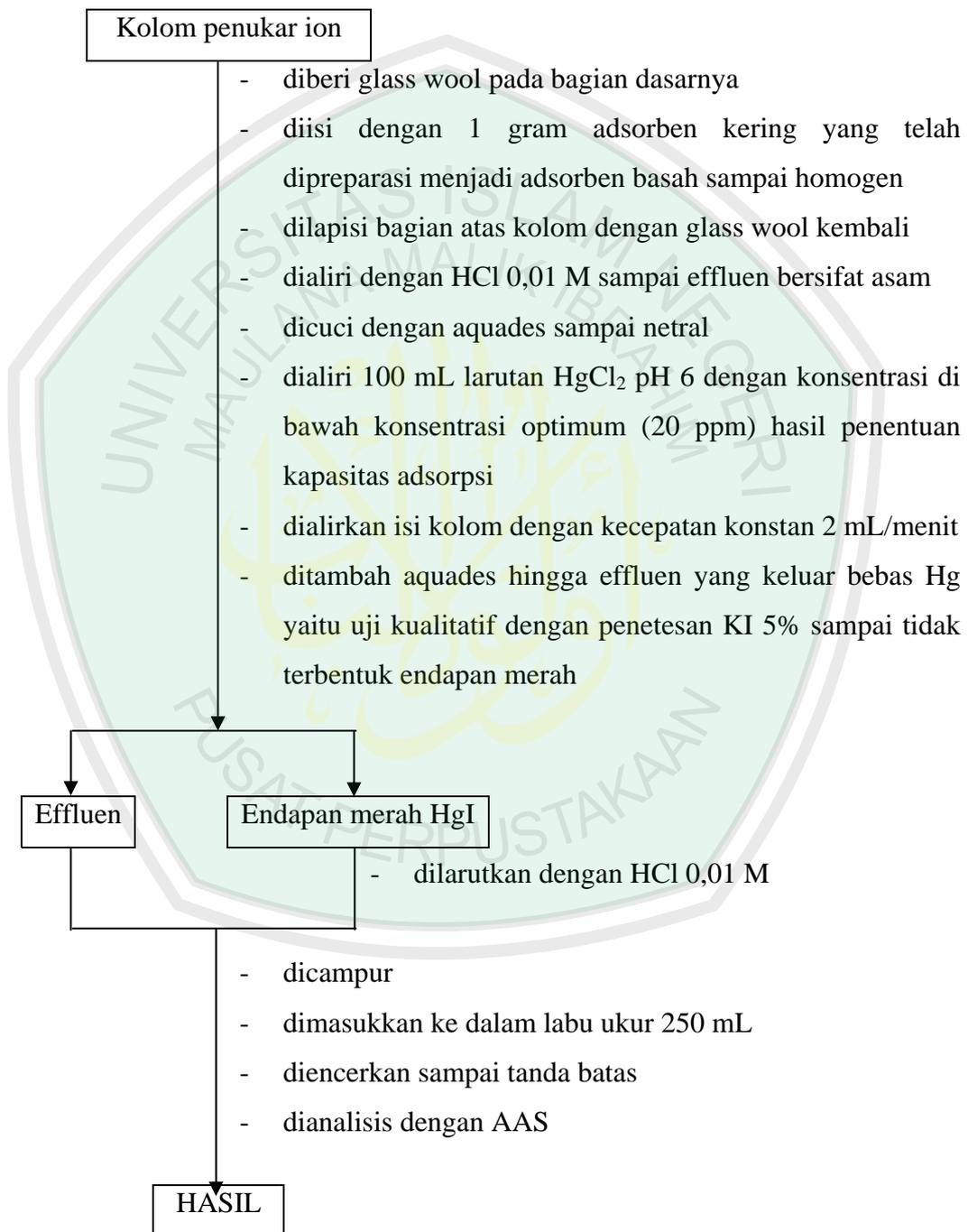


L.2.6 Penentuan Laju Alir Optimum pada Adsorpsi Merkuri(II) oleh Biomassa Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada matriks Polisilikat dengan Metode Kolom



L.2.7 Penentuan Perbandingan Antara Penggunaan Metode Kolom Dengan Metode Batch

L.2.7.1 Percobaan Metode Kolom



L.2.7.2 Percobaan Metode Batch

1 gram enceng gondok yang terimmobilisasi pada matriks polisilikat

- diinteraksikan dengan 100 mL larutan HgCl_2 pH 6 dengan konsentrasi di bawah konsentrasi optimum (20 ppm) hasil penentuan kapasitas adsorpsi
- dishaker selama 50 menit
- disaring
- filtrat yang didapat dianalisis dengan AAS

HASIL

Lampiran 3. Perhitungan Kapasitas Pertukaran Ion oleh Biomassa Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat

Regenerasi	Volume NaOH 0,1 M (mL)	Kapasitas Pertukaran Ion (miliekuivalen per gram)
		$\alpha v \times fp / W$
0	5.5	13,75
1	4.4	11
2	3.1	7,75
3	2.3	5,75
4	1.5	3,75
5	1.2	3
6	1.1	2,75
7	0.9	2,25

Kapasitas pertukaran ion dalam mili-ekuivalen per gram, ditentukan dengan rumus:

$$\text{Kapasitas pertukaran ion} = \frac{\alpha v \times fp}{W}$$

Di mana: α = molaritas larutan natrium hidroksida (NaOH 0,1 M)

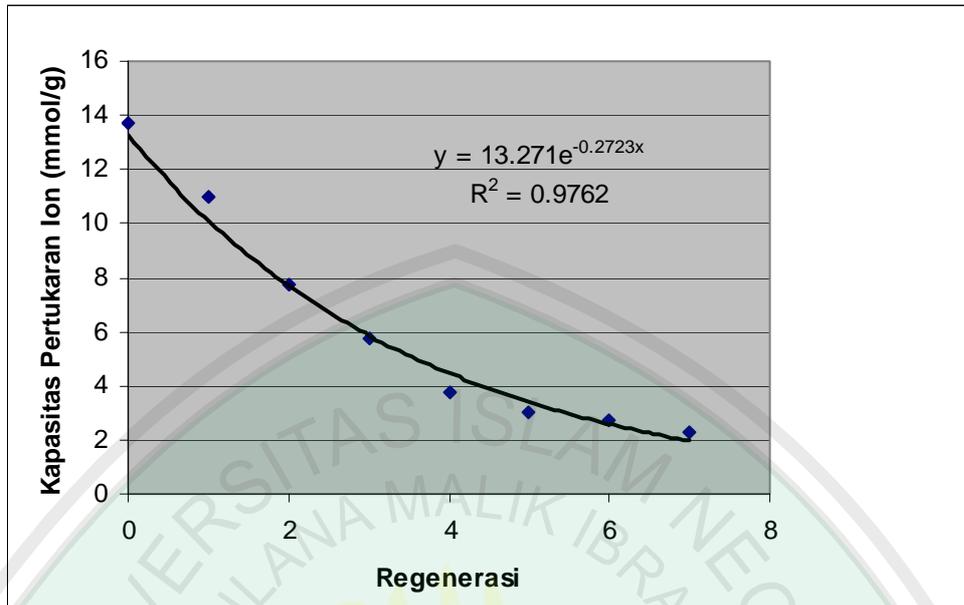
v = volume larutan dalam mL

W = 1 gram biomassa enceng gondok terimmobilisasi

fp = faktor pengenceran (10 mL effluen NaCl jenuh yang dipipet dari 250 mL effluen, jadi $fp = 250/10$)

Contoh Perhitungan Regenerasi ke 0:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas pertukaran ion} &= \frac{(0,1 \text{ M} \times 5,5 \text{ mL}) \times 25}{1 \text{ gram}} \\ &= 13,75 \text{ mmol/gram} \end{aligned}$$



Lampiran 4. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) oleh Biomassa Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisisikat dengan Metode Kolom

Konsentrasi Awal Merkuri (mg/L)	Konsentrasi Sisa Merkuri (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi Hg ²⁺ (mg/g)	Kapasitas Adsorpsi Hg ²⁺ (mmol/g)
25	16.625	2.0937	0,010
50	30.687	4.8282	0,024
75	42.562	8.1095	0,040
100	63.625	9.0937	0,045
125	88.812	9.0470	0,045
150	114.312	8.9220	0,045

Penentuan kapasitas merkuri(II) ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{(C_0 - C) \times (V \times fp)}{W}$$

Dimana: q = kapasitas adsorpsi Hg²⁺ (mg/g)

C₀ = konsentrasi Hg²⁺ awal (ppm)

C = konsentrasi Hg²⁺ sisa (ppm)

fp = faktor pengenceran

V = volume larutan total Hg²⁺ (L)

W = berat adsorben (biomassa enceng gondok) (g)

fp diperoleh dari hasil perhitungan: 100 mL HgCl₂ diencerkan menjadi 250 mL dengan penambahan aquades dan larutan Hg hasil uji kualitatif. Maka fp = 250/100 adalah 2,5.

Contoh Perhitungan Kapasitas Adsorpsi pada konsentrasi 25 mg/L.

$$\text{Kapasitas adsorpsi} = \frac{(C_0 - C) \times (V \times f_p)}{W}$$

$$\text{Kapasitas adsorpsi} = \frac{(25 \text{ mg/L} - 16,625 \text{ mg/L}) \times (0,1 \text{ L} \times 2,5)}{1 \text{ gram}}$$

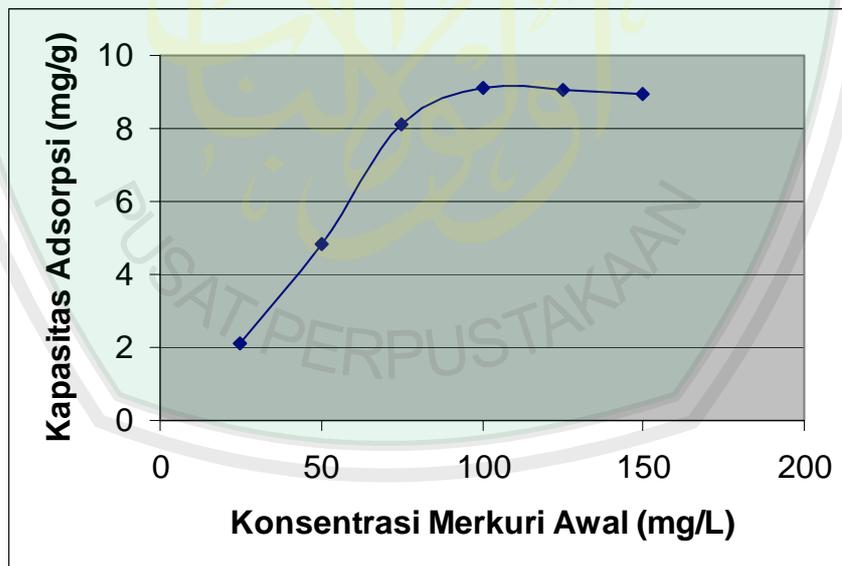
$$= 2,0937 \text{ mg/g}$$

Atau dalam mmol/g

$$\text{Mmol/g} = \text{kapasitas adsorpsi (mg/g)} / \text{Ar Hg}$$

$$= 2,09375 / 200,59$$

$$= 0,010$$



Lampiran 5. Perhitungan Penentuan Laju Alir Optimum Adsorpsi Merkuri(II) oleh Biomassa Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dengan Metode Kolom

L.5.1 Percobaan I

Laju Alir (mL/ menit)	Konsentrasi Awal Merkuri (mg/L)	Konsentrasi Sisa Merkuri (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi Merkuri (mg/g)
0.5	100	65.250	8.688
1	100	60.500	9.875
2	100	61.188	9.703
3	100	63.438	9.141
4	100	77.875	5.531
5	100	85.125	3.719
6	100	87.437	3.141

L.5.2 Percobaan II

Laju Alir (mL/ menit)	Konsentrasi Awal Merkuri (mg/L)	Konsentrasi Sisa Merkuri (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi Merkuri (mg/g)
0.5	100	66.062	8.485
1	100	68.750	7.813
2	100	70.312	7.422
3	100	63.625	9.094
4	100	79.187	5.203
5	100	84.937	3.766
6	100	85.187	3.703

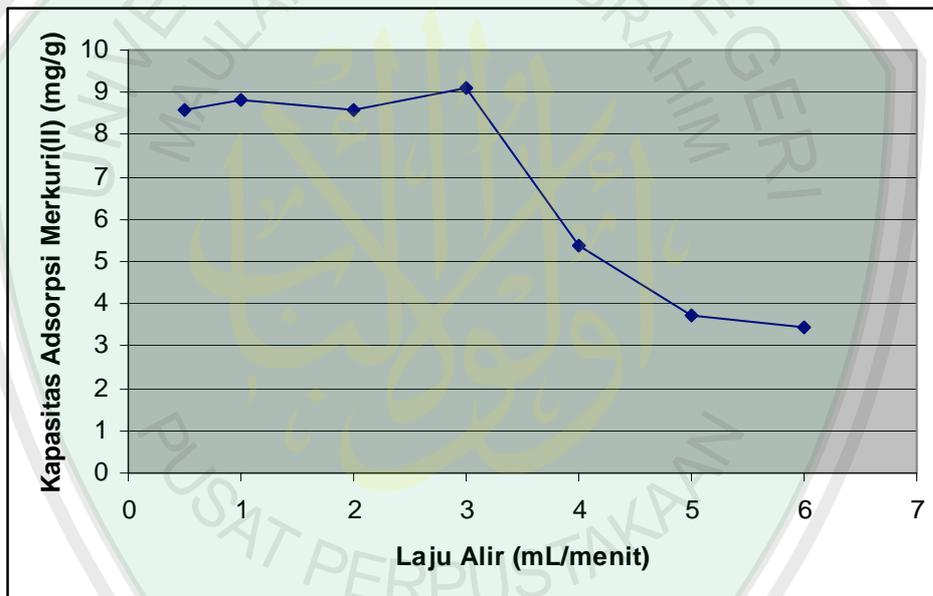
L.5.3 Penentuan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Rata-rata

Laju Alir (mL/ menit)	Kapasitas Adsorpsi Merkuri (II) (mg/g)		
	Percobaan I	Percobaan II	Rata-rata
0.5	8.688	8.485	8.5865
1	9.875	7.813	8.8440
2	9.703	7.422	8.5625
3	9.141	9.094	9.1175
4	5.531	5.203	5.3670
5	3.719	3.766	3.7425
6	3.141	3.703	3.4220

Contoh Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Pada Laju Alir 0,5 mL/menit.

$$\text{Kapasitas adsorpsi} = \frac{(C_0 - C) \times (V \times f_p)}{W}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas adsorpsi} &= \frac{(100 \text{ mg/L} - 65,250 \text{ mg/L}) \times (0,1 \text{ L} \times 2,5)}{1 \text{ gram}} \\ &= 8,688 \text{ mg/g} \end{aligned}$$



Lampiran 6. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Merkuri(II) Menggunakan Metode Kolom dan Metode Batch

	Batch	Kolom
Konsentrasi Awal Merkuri (mg/L)	20	20
Konsentrasi Sisa Merkuri (mg/L)	2.25	4.25
Kapasitas Adsorpsi Merkuri (mg/g)	1.775	3.9375

Contoh Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Pada Metode Kolom.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas adsorpsi} &= \frac{(C_o - C) \times (V \times f_p)}{W} \\ \text{Kapasitas adsorpsi} &= \frac{(20 \text{ mg/L} - 4,25 \text{ mg/L}) \times (0,1 \text{ L} \times 2,5)}{1 \text{ gram}} \\ &= 3,9375 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

Lampiran 7. Gambar Daun Enceng Gondok, Biomassa Daun Enceng Gondok yang Terimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dalam Keadaan Basah dan Kering.



L.7.1 Gambar Daun Enceng Gondok (*Eichornia crassipes*)



L.7.2 Gambar Biomassa Daun Enceng Gondok



L.7.3 Gambar Biomassa Daun Enceng Gondok yang diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dalam Keadaan Basah



L.7.4 Gambar Biomassa Daun Enceng Gondok yang diimmobilisasi pada Matriks Polisilikat dalam Keadaan Kering