

**UJI ADSORPSI-DESORPSI LARUTAN MONOLOGAM (Ni(II),
Cu(II), Cd(II)) DAN MULTIOLOGAM PADA MATERIAL
BIOMASSA ALGA *Porphyridium* sp. YANG DIMODIFIKASI
DENGAN PELAPISAN SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)
(Skripsi)**

Oleh

Indry Yani Saney



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2016

ABSTRACT

ADSORPTION-DESORPTION TEST OF MONOLOGAM (Ni(II), Cu(II), Cd(II)) AND MULTILOGAM SOLUTION ON THE ALGAE BIOMASS *Porphyridium* sp. MATERIAL MODIFIED WITH SILICA – MAGNETITE (Fe₃O₄)

By

INDRY YANI SANEY

Adsorption-desorption test of monometal ion Ni(II), Cd(II), Cu(II) and multimetal ions Ni(II), Cd(II), Cu(II), Pb(II), and Zn(II) in aqueous solution, chemical stability, and reusability of the algae biomass *Porphyridium* sp. material modified with silica-magnetite (Fe₃O₄) coating have been done through of adsorption experiment series with batch method. The synthesis result material was characterized with an infrared spectrophotometer (IR) to identify the functional groups, X-ray diffraction (XRD) to determine the crystal classification, and scanning electron microscope with energy dispersive X-ray (SEM-EDX) to determine surface morphology and constituent elements. The metal ion concentration was characterized with atomic absorption spectrophotometer (AAS). The desorption test was performed by using eluents consisting of water, HCl, and Na₂EDTA. The adsorption-desorption data of monometal solution follow these order: Cd(II)>Cu(II)>Ni(II) ion. The adsorption-desorption data of multimetal solution each follow these order: Pb(II)>Cd(II)>Zn(II)>Cu(II)>Ni(II) ions and Zn(II)>Cd(II)>Cu(II) >Ni(II) >Pb(II) ions. Chemical stability on HAS-M material was determined in solution media of acid, neutral, and base condition with the interval of time 4 days. Magnetite algae silica hybrid material (HAS-M) *Porphyridium* sp. was very stable in acid media and low stability in neutral and base media. Reusability of HAS-M material is quite effective, and it can be reused at 4 cycles of repetition.

Keyword: adsorption, desorption, algae *Porphyridium* sp., HAS-M, heavy metals.

ABSTRAK

UJI ADSORPSI-DESORPSI LARUTAN MONOLOGAM (Ni(II), Cu(II), Cd(II)) DAN MULTIOLOGAM PADA MATERIAL BIOMASSA ALGA *Porphyridium* sp. YANG DIMODIFIKASI DENGAN PELAPISAN SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)

Oleh

INDRY YANI SANEY

Uji Adsorpsi-desorpsi larutan monologam ion Ni(II), Cd(II), Cu(II) dan multilogam ion Ni(II), Cd(II), Cu(II), Pb(II), dan Zn(II), serta stabilitas kimia, dan kemampuan penggunaan ulang pada material biomassa alga *Porphyridium* sp. yang dimodifikasi dengan pelapisan silika-magnetit (Fe₃O₄) telah dilakukan melalui serangkaian eksperimen adsorpsi dengan metode *batch*. Material hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer inframerah (IR) untuk mengidentifikasi gugus fungsional, *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kekristalan, dan *scanning electron microscope with energy dispersive X-ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan serta konstituen unsur. Kadar ion logam dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom (SSA). Uji desorpsi dilakukan dengan menggunakan eluen akuades, HCl, dan Na₂EDTA. Data adsorpsi-desorpsi larutan monologam memiliki urutan sebagai berikut: ion Cd(II)>Cu(II)>Ni(II). Data adsorpsi-desorpsi larutan multilogam masing-masing menunjukkan urutan sebagai berikut: ion Pb(II)>Cd(II)>Zn(II)>Cu(II)>Ni(II) dan ion Zn(II)>Cd(II)>Cu(II)>Ni(II)>Pb(II). Stabilitas kimia material HAS-M ditentukan dalam media larutan asam, netral dan basa dalam rentang waktu selama 4 hari. Material hibrida alga silika magnetit (HAS-M) *Porphyridium* sp. sangat stabil dalam media asam dan kurang stabil dalam media netral dan basa. Penggunaan ulang material HAS-M cukup efektif digunakan kembali pada 4 siklus pengulangan.

Kata kunci: adsorpsi, desorpsi, alga *Porphyridium* sp., HAS-M, logam berat.

**UJI ADSORPSI-DESORPSI LARUTAN MONOLOGAM (Ni(II),
Cu(II), Cd(II)) DAN MULTIOLOGAM PADA MATERIAL
BIOMASSA ALGA *Porphyridium* sp. YANG DIMODIFIKASI
DENGAN PELAPISAN SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)**

Oleh

INDRY YANI SANEY

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

**: UJI ADSORPSI-DESORPSI LARUTAN
MONOLOGAM (Ni(II), Cu(II), Cd(II))
DAN MULTILOGAM PADA MATERIAL
BIOMASSA ALGA *Porphyridium* sp.
YANG DIMODIFIKASI DENGAN
PELAPISAN SILIKA-MAGNETIT (Fe_3O_4)**

Nama Mahasiswa

: Indry Yani Saney

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1217011030

Jurusan

: Kimia

Fakultas

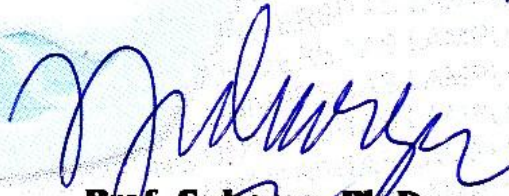
: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Prof. Dr. Buhani, M.Si.
NIP 19690416 199403 2 003



Prof. Suharso, Ph.D.
NIP 19690530 199512 1 001

2. Ketua Jurusan Kimia



Dr. Suripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 19740705 200003 1 001

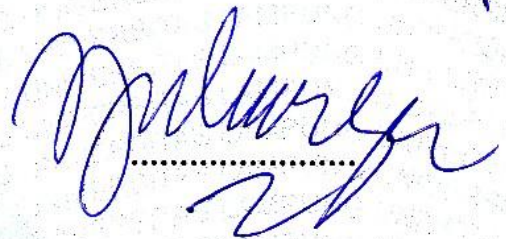
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

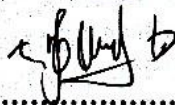
Ketua : **Prof. Dr. Buhani, M.Si.**


.....

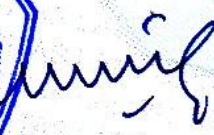
Sekretaris : **Prof. Suharso, Ph.D.**


.....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**


.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.
NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **31 Oktober 2016**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Dalam, pada tanggal 4 Agustus 1994, sebagai anak bungsu dari enam bersaudara, putri dari Bapak Nadjamuddin (Alm) dan Ibu Salna. S.

Jenjang pendidikan diawali dari Taman Kanak -kanak (TK) di TK Dharma Wanita Sidomulyo, diselesaikan pada Tahun 1999. Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Kota Dalam diselesaikan pada Tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Kalianda diselesaikan pada Tahun 2009 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Blambangan Umpu, diselesaikan pada Tahun 2012. Penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Unila melalui jalur PMPAP (Penerimaan mahasiswa perluasan akses pendidikan). Pada tahun 2015. Penulis melakukan Praktek Kerja Lapangan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia FMIPA Unila di Bandar Lampung. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Sains Dasar, Kimia Dalam Kehidupan, Kimia Anorganik I, dan Kimia Anorganik II. Penulis juga aktif di Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila sebagai anggota Biro Usaha Mandiri (BUM) di Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) periode 2014-2015. Pada Bulan Juli, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Kebangsaan di Desa Dayun Kecamatan Dayun Kabupaten Siak, Provinsi Riau selama sebulan penuh.

Motto

*Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan
(Q.S Al. Insyirah;6)*

*Selalu berusaha, berdoa, dan mengucapkan syukur, yakinkan hatimu bahwa
Allah selalu bersamamu dengan segala kebesarannya
(Indry Yani Sarey)*

*Lakukan apa yang ingin dilakukan, lakukan apa yang bisa dilakukan, dan
ingatkan dirimu bahwa hidup selalu ada batasan
(Indry Yani Sarey)*

*Jika engkau ingin berbakat, kuatkanlah dirimu dengan pelajaran dari masa
lalu, jatuh itu wajar, namun jatuh pada kesalahan yang sama itu kebodohan
(Indry Yani Sarey)*

*Tak ada hal yang sia sia, dibalik setiap cerita ada pesan cinta yang ingin Allah
sampaikan
(Indry Yani Sarey)*

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada :

ALLAH S.W.T

*Kedua Orang tuaku,
Ayahku yang telah berada di surga allah
Ibu Salna. S yang telah memberikan rasa kasih sayang, cinta,
pengorbanan, serta doa indah untukku. Terima Kasih atas segalanya
inspirasi, karena beliaulah alasan atas perjuangan ini.*

*Ayuk dan kakak-kakakku, titah mupun & aa dedi, abang lince & kyai
baheram, batin linda & batin arya, ayuk nila & kak iwan, terima kasih
atas segala, perhatian, kasih sayang, doa dan dukungannya.*

*keluarga besar "Ratu Lampung" di Way Kanan yang telah banyak
mendukungku.*

keponakan-ponakanku

Pembimbing dan dosen-dosen yang selalu membagi ilmunya untukku.

Seluruh sahabat dan teman-teman yang selalu menyemangati

Seseorang yang akan mendampingi

dan Almamater tercinta.

SANWACANA

Assalamualaikum wr. wb.

Puji syukur Penulis haturkan kepada Sang Pemberi Kehidupan, Allah SWT., karena atas seijin-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul "**Uji Adsorpsi-Desorpsi Larutan Monologam (Ni(II), Cu(II), Cd(II)) dan Multilogam Pada Material Biomassa Alga *Porphyridium* sp. yang Dimodifikasi Dengan Pelapisan Silika-Magnetit (Fe₃O₄)**" adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui karena Allah SWT. serta bantuan dan dorongan semangat dari orang-orang yang hadir dalam kehidupan penulis. Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada :

1. Allah SWT. Tuhan semesta alam yang telah memberikan kehidupan kepada penulis dan memberikan nikmat sehat untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Prof. Dr.Buhani, M.Si., selaku pembimbing I penelitian dan pembimbing akademik yang telah banyak memberikan nasihat, saran, ilmu, motivasi, perhatian, bantuan dan kesabaran dalam membimbing menyelesaikan skripsi

ini serta memberikan bimbingan konseling berupa arahan dan masukan yang baik selama saya menjadi mahasiswa.

3. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku pembimbing II penelitian yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.
4. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku penguji penelitian yang telah memberikan semangat, kritik, saran, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.
5. Dr. Suripto Dwi Yuwono, M.T., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila.
6. Seluruh dosen FMIPA Unila yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan yang sangat berguna kepada penulis selama kuliah.
7. Terima kasih kepada Mbak Liza selaku PLP (Pranata Laboratorium Pendidikan) Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik atas bantuan dan saran dalam kepada penulis dalam melaksanakan penelitian.
8. Staf karyawan Unila yang telah direpotkan urusan administrasi oleh saya, khususnya staf jurusan kimia, Pak Gani, Mbak Nora, dan Bu Ani, terima kasih atas segala saran dan bantuannya.
9. Kedua orang tuaku yang sangat aku cintai. Ayah (Nadjamuddin (Alm)) dan emak (Salna. S). Hanya terima kasih yang bisa Anggi ucapkan dan berikan kepada kalian. Pengorbanan emak sungguh luar biasa untuk membesarkan anggi. Terima kasih selalu memberikan semangat serta doa yang tiada putus-putusnya di sepanjang waktumu hingga anggi menyelesaikan studi di jurusan Kimia dan menyelesaikan skripsi ini. Terima Kasih emak atas nasehat, senyum, dan pengorbananmu. Love you more.

10. Ayuk-ayukku, titah mupun, abang lince, batin linda, dan ayuk nila yang selalu memberikan kasih sayang, doa dan dukungannya pada adik bungsu kalian ini. Begitu juga dengan para suami-suami ayukku, aa' dedi yang selama ini selalu mendukung dan menasehati isuk, yang telah memberikan perhatian layaknya adik sekalian gadis kecilnya, karena dari beliau lah kudapatkan pengganti akan sosok seorang ayah. Begitu juga dengan kyai baheram, batin aya, dan kak iwan, terima kasih kasih sayang, doa dan dukungannya.
11. Keponakan-keponakan kesayangan isuk, yang menjadi hiburanku saat jenuh, yang selalu ngerepotin isuk dimanapun isuk pulang karena selalu jadi babysister pastinya, terima kasih sayang.
12. Keluarga besar "Ratu Lampung" khususnya tante umum, lati aminah, pak batin hamdan, abah basri, biksu yun, lita ros, dll, serta sepupu-sepupu aku yang selalu membantu anggi dalam menyelesaikan kuliah. Terima kasih atas segala doa dan dukungannya.
13. Teman-teman satu perjuangan, "Grup adsorpsi (Buhani's Research)", , Siti Nur Halimah (Cyn imah), Rifki Khusnul Khuluk (laki-laki kami), dan khususnya Indah Wahyu (iin) parnert perjuangan skripsi aku, maafkan jika aku suka gak sabaran, dan suka greget sama iin hehe. Terima kasih banyak atas kerjasama, masukan, semangat, dan kekompakkan kalian selama ini serta telah membuat gue jadi seseorang yang "strong" menghadapi kalian yang mempunyai watak yang berbeda-beda.
14. Sahabat chemku "Para Wanita" Yungsi U' Nasy'ah yang biasa aku panggil Sii U' (Temen curhat perkara calon pendamping masa depan), Nila Amalin

Nabilah (komeng), Siti Aisah (ais), Ayu Setianingrum (Ningrum), Atma Istanami (atem), dan Suwarda Dua Imatu Dela (Mb del). Terima kasih untuk kalian, yang bersedia jadi temen buat cerita, ngerumpi segala hal dan menemaniku kapanpun dan dimanapun.

15. Keluargaku, “Chemistry 2012” Rekan-rekan se-angkatan Kimia 2012, yaitu
Adi Setiawan (Adi), Aditian Sulung S (Adit), Agus Ardiansyah (Adam),
Ajeng Wulandari (Ajeng kimo), Ana Maria Kristiani (Ana), Apri Welda
(Welda), Arif Nurhidayat (Arif), Arya Rifansyah (bebeb Arya), Atma
Istanami (Atem), Ayu Imani (Imani), Ayu Setianingrum (Ningrum), Deborah
Jovita (Debi), Derry Vardella (Derry), Dewi Aniatul Fatimah (Dedew), Diani
Iska Miranti (Didi), Dwi Anggraini (dwi), Edi Suryadi (Edi), Eka
Hurwaningsih (Eka), Elsa Zulha (Elsa), Erlita Aisyah (Lita), Febita
Glyssenda (Febita), Feby Rinaldo Pratama Kusuma (Febi), Fenti Visiamah
(fenti), Ferdinand Haryanto Simangunsong (Dinand), Fifi Adriyanti (Fifi),
Handri Sanjaya, Hiqi Alim, Indah Wahyu P (Iin), Intan Mailani (Lele), Ismi
Khomsiah (Simi), Jean Pitaloka (Jeje), Jenny Jessica Sidabalok, Khoirul
Anwar (Anwar), Maria Ulfa (Ma’ul), Meta Fosfi Berliyana (Meta), M. Rizal
Robbani (Robani), Murni Fitria (Racun), Nila Amalin Nabilah (Komeng),
Putri Ramadhona (Dona), Radius Uly Artha (Abi), Riandra Pratama Usman
(Riandra), Rifki Husnul Khuluk (Khuluk), Rizal Rio Saputra (Rio), Rizki
Putriyana (Putri), Ruliana Juni Anita (Ruli), Ruwaidah Muliana (Uwai), Siti
Aisah (Ais), Siti Nur Halimah (Imah), Sofian Sumilat Rizki (Ncop), Sukamto
(Cyn Kamto), Susy Isnaini Hasanah (d’ susi), Suwarda Dua Imatu Dela
(Dela), Syathira Assegaf (Tira), Tazkiya Nurul (Taskia), Tiand Reno (Reno),

Tiara Dewi Astuti (Ara), Tiurma Debora Simatupang (Abang Debo), Tri Marital (Tri'), Ulfatun Nurun (Pa'ul), Wiwin Esty Sarwita (Wiwin), Yepi Triapriani (Yepi), Yungsi'U Nasy'Ah (Sii U'), dan Zubaidi (Ubai) sebagai keluarga ke dua. Semoga tali silaturahmi kita tetap erat dan tak akan pernah putus; Terima kasih untuk kalian, karena kalian lah hari-hari aku di kampus menjadi lebih "berwarna" dan "hidup".

16. Kakak-kakak kimia 2009, 2010 dan 2011 serta adik-adik 2012, 2013, 2014 dan 2015.
17. My boy partner, Hari wahyudi (Nta). Lawan bertengkar aku di sepanjang waktu, Terima kasih telah ada menemani aku sedari SMA sampai saat ini,. Pengertian, perhatian, kasih sayang, doa, dukungan, dan semangatnya yang sangat luar biasa dan berarti buatku.
18. My best man, Kikie Okari. Kenal dari jaman baru lahir, sd, sampai sekarang. Dia yang care nya lebih dari siapapun, selalu ada disaat aku butuh apapun, yang selalu nemenin kalo aku lagi BT, yang selalu meminta aku tersenyum, yang always nyemangatin aku skripsian dan gak bosan bosan nanya kapan wisuda (Mau foto bareng pake toga katanya), Thanks for prayer, attention, time, and supporting to "muli" mu.
19. Terima kasih Sahabat-sahabat SMA aku, dedev, nyunyu, umi, khususnya pipit dan rarag yang selalu jadi temen main dan curhat aku, love you more.
20. Buat anak-anak kosan, mb efin (butet), rica (sii boru), rateh (adek mami), meri, hannum (hantu), via, dkk, kalianlah teman makan dan rumpi sepanjang hari, dan yang gak bosan bosan dengerin cerita aku, cerita versi apapun itu

hihi. Terima kasih atas tawa canda, perhatian serta dukungan yang telah kalian berikan..

21. Teman-teman KKN Kebangsaan 2015 “Sahabat Dayun” sii ‘Vinda’ yang biasa manggil aku dengan seruan bunda (Unri), Moly (Unsyiah)), Rosi (Unsyiah), Helen (Uin Suska Riau), Sisi (Unri), Sarah (Uin Suska Riau), Rahmat (Unri), Khairul (Unri), Hilda (Unri), Dima (Unri), Desi (Unri), Azhar (Unri) Bang Agus (Uin Suska Riau), Anwar (Uin Suska Riau), Azan (Uin Suska Riau), Andika (Unimed), Mahya (Unand), Mario (UI), Miftah (UI), Dennis (UI), Yuyun (Untan), Bang igun (Untan), Lia (Unsri), Zeno (Unsri), Kizi/Kicot (Unja), Dede (UBB), Okta/Boboy (UBB), Wahyu (UNM), Erni (UTM), Bang Ramzi (UTM), Bang Reza (Unib) dan Ari (Unila). 32 pasukan dayun yang telah menyemangati dan menginspirasi saya agar skripsinya cepat selesai. Semoga kita dapat berjumpa lagi utuh dengan 33 pasukan, amin.
22. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih.

Akhir kata Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan.

Penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat. Aamiin.

Wassalamualaikum wr. wb.

Bandar Lampung, 31 Oktober 2016
Penulis

Indry Yani Saney

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
 I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Manfaat Penelitian	5
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Biomassa Alga	6
B. Immobilisasi Biomassa Alga	8
C. Silika Gel	9
D. Proses Sol Gel	10
E. Magnetit (Fe_3O_4).....	12
F. Ion Logam Yang Digunakan.....	13
1. Seng (Zn).....	14
2. Nikel (Ni)	15
3. Timbal (Pb)	15
4. Tembaga (Cu).....	16
5. Kadmium (Cd).....	18
G. Adsorpsi	19
1. Adsorpsi Ion Logam.....	20
a. Sifat logam dan ligan	22
b. Pengaruh pH sistem.....	23
c. Pelarut	23
H. Desorpsi	25
I. Karakterisasi	29
1. Spektrofotometer Inframerah (IR)	29

2. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).....	30
3. X-Ray Diffraction (XRD)	31
4. Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)	32

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat	34
B. Alat dan Bahan	34
C. Prosedur Penelitian	
1. Pembuatan Biomassa Alga <i>Porphyridium</i> sp.	35
2. Sintesis	
a. Hibrida Alga Silika Magnetit (HAS-M) <i>Porphyridium</i> sp	35
3. Karakterisasi Material	36
4. Uji Adsorpsi	
a. Monologam.....	36
b. Multilogam	37
c. Stabilitas kimia	37
d. Penggunaan ulang.....	38

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis	
1. Hibrida Alga Silika Magnetit (HAS-M) <i>Porphyridium</i> sp	39
B. Karakterisasi Material	
1. Karakterisasi spektrofotometer inframerah (IR)	40
2. Karakterisasi difraksi sinar-X (XRD)	42
3. Karakterisasi SEM-EDX	44
C. Uji Adsorpsi-Desorpsi	
1. Monologam.....	46
2. Multilogam	48
D. Stabilitas Kimia	52
E. Penggunaan Ulang.....	55

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	57
B. Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persentase ikatan ionik hasil interaksi ion logam-ligan	20
2. Hasil analisis struktur kristal XRD	43
3. Data perhitungan jumlah ion Ni(II), Cd(II), dan Cu(II), yang terdesorpsi pada HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.....	68
4. Data perhitungan jumlah ion Ni(II), Cd(II), dan Cu(II), yang teradsorpsi pada HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.....	69
5. Data perhitungan jumlah ion Ni(II), Cd(II) Cu(II), Pb(II) dan Zn(II) yang teradsorpsi pada HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.	70
6. Data perhitungan jumlah ion Ni(II), Cd(II) Cu(II), Pb(II) dan Zn(II) yang terdesorpsi pada HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.	71
7. Data perhitungan jumlah Si yang tertinggal (Si_t) dalam HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.....	72
8. Data perhitungan jumlah ion Cd(II) yang teradsorpsi pada HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.....	73
9. Data perhitungan jumlah ion Cd(II) yang terdesorpsi pada HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur TEOS	11
2. Struktur EDTA	28
3. Reaksi pembentukan kompleks EDTA	29
4. Skema SEM prinsip kerja SEM	33
5. Spektra IR (a) biomassa alga <i>Porphyridium</i> sp., (b) HAS, dan (c) HAS-M..	40
6. Difraktogram (a) magnetit, (b) HAS, (c) HAS-M	42
7. Mikrograf SEM (a) magnetit, (b) HAS, dan (c) HAS-M.....	44
8. Spektrum EDX (a) magnetit, (b) HAS, dan (c) HAS-M	45
9. Grafik monologam jumlah ion Ni(II), Cd(II), dan Cu(II) yang teradsorpsi dan terdesorpsi pada material HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.	46
10. Grafik multilogam jumlah ion Ni(II), Cd(II), Cu(II), Pb(II), dan Zn(II) yang teradsorpsi dan terdesorpsi pada material HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.	49
11. Mikrograf material HAS-M (a) sebelum mengadsorpsi larutan multilogam (b) setelah mengadsorpsi larutan multilogam	51
12. Spektrum EDX HAS-M setelah mengadsorpsi larutan multilogam	52
13. Konsentrasi Si tersisa setelah interaksi selama 4 hari pada medium asam, netral, dan basa Struktur TEOS	53
14. Spetrum IR stabilitas kimia dari (a) HAS-M (b) setelah interaksi selama 4 hari dalam media asam, (c) netral (d) basa	54
15. Grafik hasil penggunaan ulang adsorpsi-desorpsi ion Cd(II) pada material HAS-M <i>Porphyridium</i> sp.	55

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pada era global ini, tak dapat dipungkiri bahwa banyak teknologi-teknologi maju dan berkembang yang memanfaatkan unsur lingkungan untuk memberikan kemudahan bagi manusia untuk melakukan berbagai kegiatan. Hal ini menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Akhir-akhir ini makin banyak limbah-limbah dari pabrik, rumah tangga, perusahaan, kantor-kantor, dan sekolah yang berupa cair, padat bahkan berupa zat gas dan semuanya itu berbahaya bagi kehidupan kita. Limbah yang berbahaya yakni suatu limbah yang mengandung logam berat. Kegiatan industri, pertambangan, pembakaran bahan bakar, serta kegiatan domestik lainnya telah meningkatkan kandungan logam berat di berbagai lingkungan. Logam berat umumnya bersifat racun, korosif, serta sulit terdegradasi di alam. Logam berat juga dapat terakumulasi pada organisme dan mengakibatkan timbulnya efek negatif (Haryoto dan Wibowo, 2004).

Beberapa contoh logam berat tersebut adalah kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn), merkuri (Hg), tembaga (Cu), dan besi (Fe) (Buhani *et al.*, 2012). Logam berat merupakan unsur logam yang memiliki berat molekul tinggi. Dalam kadar rendah, logam berat pada umumnya sudah cukup beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia (Krauskopf, 1979). Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk menurunkan konsentrasi logam berat pada lingkungan yang sudah

tercemar untuk mencegah timbulnya masalah yang baru. Beberapa metode yang sering digunakan untuk mengurangi konsentrasi ion logam berat antara lain metode presipitasi, koagulasi, kompleksasi, ekstraksi pelarut, pemisahan membran, pertukaran ion, dan adsorpsi. Dari beberapa metode yang telah disebutkan, metode adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam menyerap ion logam dalam larutan (Buhani *et al.*, 2010).

Adsorpsi merupakan metode pengolahan limbah cair yang unggul dibandingkan dengan teknik lain. Proses adsorpsi menawarkan fleksibilitas dan keuntungan dalam desain dan operasi seperti adsorbennya dapat digunakan kembali, mudah dikerjakan dan murah (Oscik, 1982). Banyak peneliti telah melakukan studi kemampuan suatu adsorben untuk menyerap ion logam (adsorbat) guna menangani pencemaran limbah logam cair. Seperti yang telah dilakukan oleh (Fatriyah, 2007), menggunakan alga sebagai adsorben untuk menyerap logam Pb, Co, dan Cd, dan penelitian menggunakan alga *Nannochloropsis* sp. sebagai adsorben untuk menyerap logam Pb(II), Cu(II), dan Cd(II) (Buhani *et al.*, 2009).

Biomassa alga merupakan salah satu material alam yang memiliki gugus aktif yang berperan dalam mengikat ion logam dan memiliki kelimpahan yang cukup banyak di wilayah perairan Indonesia. Biomassa dari beberapa spesies alga efektif untuk mengikat ion logam dari lingkungan perairan (Harris and Ramelow, 1990), karena biomassa alga mengandung beberapa gugus fungsi yang dapat berperan sebagai ligan terhadap ion logam (Buhani dan Suharso, 2009; Gupta and Rastogi, 2008). Gugus fungsi tersebut terutama adalah gugus karboksil, hidroksil, sulfidril, amino, imidazol, sulfat, dan sulfonat yang terdapat di dalam dinding sel dalam

sitoplasma (Putra, 2006). Beberapa jenis alga telah mendapat perhatian terutama pada kemampuannya yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam, kemungkinan pengambilan kembali yang relatif mudah terhadap ion-ion logam yang terikat pada biomassa dan kemungkinan penggunaan kembali biomassa sebagai biosorben yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair (Buhani *et al.*, 2006).

Pada penelitian ini digunakan biomassa alga *Porphyridium* sp. sebagai agen pengadsorpsi karena kemampuan adsorpsinya yang cukup tinggi terhadap ion-ion logam dalam bentuk biomassa. Kemampuan biomassa alga *Porphyridium* sp. sebagai adsorben logam berat telah diketahui dari hasil penelitian sebelumnya, seperti biomassa alga *Porphyridium* sp. sangat efisien dalam mengurangi ion logam Ca(II), Cu(II) dan Cd(II) tanpa dimodifikasi. Hasilnya yaitu untuk kapasitas adsorpsi untuk masing-masing ion logam tersebut adalah 28,63; 37,07; 76,92 mg g⁻¹ (Supriyanto, 2014). Akan tetapi, biomassa alga ini memiliki beberapa kelemahannya itu ukurannya yang kecil, berat jenis rendah, dan strukturnya yang mudah rusak karena dekomposisi oleh mikroorganisme lain, dan juga secara teknik sulit digunakan dalam kolom untuk aplikasinya sebagai adsorben (Buhani *et al.*, 2006). Oleh sebab itu, dilakukan immobilisasi biomassa alga dengan matriks silika gel melalui proses sol-gel. Proses sol-gel ini dapat menghomogenkan larutan namun tidak merusak strukturnya sehingga proses immobilisasi alga pada matriks silika diharapkan dapat mempertahankan keaktifan gugus-gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga dan meningkatkan kapasitas adsorpsi ion-ion logam, terutama logam berat (Liu *et al.*, 2010).

Modifikasi pelapisan partikel magnetit pada matriks pendukung dilakukan dengan pelapisan silika-magnetit (Fe_3O_4) pada biomassa alga. Metode ini merupakan salah satu teknik yang dapat mengatasi adanya gumpalan padatan tersuspensi (*flocculant*) dalam limbah industri yang diolah. Peningkatan kapasitas adsorpsi melalui proses immobilisasi biomassa alga terhadap silika dapat meningkatkan kualitas fisik dan laju adsorpsi pada biomassa alga, sehingga dapat digunakan sebagai adsorben yang lebih efektif terhadap logam berat dari limbah cair yang dihasilkan industri (Jeon, 2011; Peng *et al.*, 2010; Lin *et al.*, 2011).

Kemampuan biomassa alga *Porphyridium* sp. yang sangat baik dalam menyerap logam berat dapat dilihat dari hasil penelitian sebelumnya. Wicaksono (2015), telah melakukan penelitian uji adsorpsi ion logam Ni(II) dan Zn(II) pada konsentrasi optimum sebesar 300 mg L^{-1} dengan biomassa *Porphyridium* sp. yang dimodifikasi dengan silika magnetit. Hasilnya diperoleh kapasitas adsorpsi untuk masing-masing ion logam tersebut sebesar 62,43 dan 46,00 mg g^{-1} . Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan biomassa alga *Porphyridium* sp., yang diimmobilisasi menggunakan silika sebagai matriks pendukung dengan pelapisan partikel magnetit (Fe_3O_4) sebagai adsorben yang digunakan untuk menentukan uji adsorpsi pada larutan monologam dan multilogam. Selain itu, akan dilakukan juga proses desorpsi menggunakan aquades, HCl, dan asam etilena diamina tetraasetat (EDTA) untuk melepaskan kembali logam-logam berat yang telah terserap pada adsorben. Material yang diperoleh dikarakterisasi dengan alat spektrofotometer inframerah (IR) untuk identifikasi gugus fungsional. Tingkat kekristalan material magnetit yang diperoleh dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Kadar ion logam

yang teradsorpsi dan terdesorpsi dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA). Untuk mengetahui morfologi permukaan dilakukan analisis menggunakan SEM-EDX.

B. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan diatas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Mensintesis dan karakterisasi material hibrida alga silika Magnetit (HAS-M) *Porphyridium* sp.
2. Mempelajari proses adsorpsi-desorpsi ion Ni(II), Cu(II), dan Cd(II) pada larutan monologam, dan larutan multilogam Pb(II), Cd(II), Cu(II), Zn(II), dan Ni(II) oleh biomassa alga *Porphyridium* sp.
3. Mempelajari stabilitas kimia dan kemampuan penggunaan ulang material biomassa alga *Porphyridium* sp.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai hasil modifikasi hibrida alga silika dengan pelapisan partikel magnetit sehingga dapat diaplikasikan sebagai adsorben logam berat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biomassa Alga

Mayoritas mikroorganisme yang hidup didaerah perairan salah satunya adalah alga. Mikroorganisme ini memiliki bentuk dan ukuran yang beranekaragam, ada yang mikroskopis, bersel satu, berbentuk benang/pita atau berbentuk lembaran. Berdasarkan pigmen (zat warna) yang dikandung, alga dikelompokkan atas empat kelas, yaitu: *Rhodophyceae* (alga merah), *Phaeophyceae* (alga coklat), *Chlorophyceae* (alga hijau), dan *Cyanophyceae* (alga biru). Alga dalam keadaan hidup dimanfaatkan sebagai bioindikator tingkat pencemaran logam berat di lingkungan perairan sedangkan alga dalam bentuk biomassa terimmobilisasi dimanfaatkan sebagai biosorben (material biologi penyerap logam berat) dalam pengolahan air limbah kronis (Harris and Rammelow, 1990).

Mikroalga merupakan kelompok tumbuhan berukuran renik yang termasuk dalam kelas alga, diameternya antara 3-30 μm , baik sel tunggal maupun koloni yang hidup di seluruh wilayah perairan tawar maupun laut, yang lazim disebut fitoplankton. Di dunia mikrobia, mikroalga termasuk eukariotik, umumnya bersifat fotosintetik dengan pigmen fotosintetik hijau (klorofil), coklat (fikosantin), biru kehijauan (fikobilin), dan merah (fikoeritrin). Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian tugas yang jelas pada sel-sel komponennya. Hal itulah yang membedakan

mikroalga dari tumbuhan tingkat tinggi (Romimohtarto, 2004). Dalam biomassa mikroalga terkandung bahan-bahan penting yang sangat bermanfaat, misalnya protein, karbohidrat, lemak, dan asam nukleat. Persentase keempat komponen tersebut bervariasi tergantung jenis alga.

Porphyridium sp. merupakan jenis alga merah uniseluler dengan sel berbentuk seperti bola. Alga ini merupakan jenis alga dari filum Rhodophyta dan ordo Porphyridiales, memiliki diameter sel antara 4-9 μm . *Porphyridium* sp. sel-selnya tidak memiliki dinding sel mengandung kloroplas tunggal yang dikelilingi oleh lapisan polisakarida sulfat yang mudah larut dalam air (Arad and Cohen, 1989). *Porphyridium* sp. kemungkinan mengandung polisakarida sulfat dan pigmen merah protein yakni *phycoerythrin* (Singh *et al.*, 2005).

Klasifikasi *Porphyridium cruentum* menurut Vonshak (1988) adalah sebagai berikut :

Divisi	: Rhodophyta
Sub Kelas	: Bangiophycidae
Ordo	: Porphyridiales
Famili	: Porphyridiaceae
Genus	: <i>Porphyridium</i>

Secara umum, keuntungan pemanfaatan alga sebagai bioindikator dan biosorben adalah:

1. Alga mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam mengadsorpsi logam berat karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil,

hidroksil, amina, sulfidril, imadazol, sulfat, dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel dalam sitoplasma;

2. Bahan bakunya mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak;
3. Biaya operasional yang rendah;
4. Tidak perlu nutrisi tambahan.

B. Immobilisasi Biomassa Alga

Pemanfaatan biomassa alga terkadang memiliki beberapa kelemahan yaitu ukurannya yang sangat kecil, berat jenis yang rendah, dan strukturnya mudah rusak akibat degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kelemahan tersebut berbagai upaya dilakukan, diantaranya dengan mengimmobilisasi biomasannya. Immobilisasi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan matriks polimer seperti polietilena, glikol, dan akrilat, oksida seperti alumina, silika, dan campuran oksida seperti kristal aluminasilikat, asam polihetero, dan karbon (Harris and Rammelow, 1990).

Untuk meningkatkan kestabilan biomassa alga sebagai adsorben, pada penelitian ini dilakukan immobilisasi dengan matriks pendukung menggunakan silika gel. Silika gel merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan dalam proses adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh mudahnya silika diproduksi dan sifat permukaan (struktur geometri pori dan sifat kimia pada permukaan) dan dapat dengan mudah dimodifikasi (Fahmiati dkk., 2004).

Agar laju dan kapasitas adsorben meningkat dalam mengadsorpsi ion logam, maka dilakukan teknik pelapisan silika dengan magnetit (Fe_3O_4). Penambahan

magnetit ini dapat meningkatkan stabilitas adsorben dengan jalan melapisi permukaan silika dengan magnetit secara *in-situ*. Lapisan permukaan silika diharapkan berfungsi sebagai perisai terhadap pengaruh lingkungan, sehingga magnetit lebih stabil. Pertama, karena silika yang melapisi permukaan nanopartikel magnetit menghalangi gaya tarik-menarik magnetit dipolar antar partikel, sehingga terbentuk partikel yang mudah terdispersi di dalam media cair dan terlindungi dari kerusakan dalam suasana asam. Kedua, terdapatnya gugus silanol dalam jumlah besar pada lapisan silika mempermudah aktivasi magnetit. Gugus silanol menjadi tempat terikatnya berbagai gugus fungsi seperti karbonil, biotin, avidin, dan molekul lainnya sehingga memudahkan aplikasi magnetit terutama di bidang biomedis. Selain itu, lapisan silika memberikan sifat *inert* yang berguna bagi aplikasi pada sistem biologis (Pankhurst *et al.*, 2003; Deng, 2005).

C. Silika Gel

Silika gel merupakan silika amorf tersusun dari tetrahedral SiO_4 yang tersusun secara tidak beraturan dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang terbentuk karena kondensasi asam ortosilikat. Struktur satuan mineral silika pada dasarnya mengandung kation Si^{4+} yang terkoordinasi secara tetrahedral dengan anion O^{2-} . Rumus kimia silika gel secara umum adalah $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (Oscik, 1982). Silika banyak digunakan karena merupakan padatan pendukung yang memiliki kelebihan yaitu stabil pada kondisi asam, inert, biaya sintesis rendah, memiliki karakteristik pertukaran massa yang tinggi, porositas, luas permukaan, dan memiliki daya tahan tinggi terhadap panas. Selain itu, silika gel memiliki situs aktif berupa gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) di permukaan (Na *et al.*,

2006). Adapun kelemahan dari penggunaan silika gel adalah rendahnya efektivitas dan selektivitas permukaan dalam berinteraksi dengan ion logam berat sehingga silika gel tidak mampu berfungsi sebagai adsorben yang efektif yang ada hanya berupa gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Akan tetapi, kekurangan ini dapat diatasi dengan memodifikasi permukaan dengan menggunakan situs aktif yang sesuai untuk mengadsorpsi ion logam berat yang dikehendaki (Nuzula, 2004).

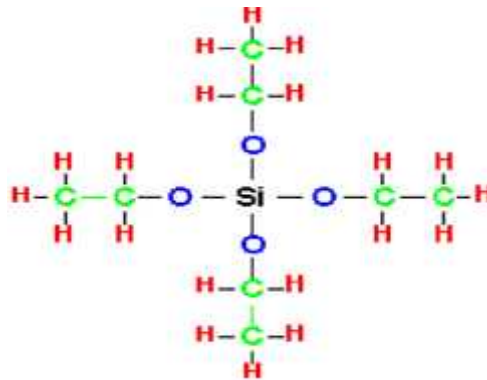
Jaringan silika amorf 3 dimensi (3D) dapat terbentuk pada temperatur ruang. Viskositas larutan secara kontinyu meningkat dimana pada saat itu larutan akan menjadi gel. Kemampuan adsorpsi silika gel dipengaruhi oleh adanya situs aktif pada permukaannya yakni berupa gugus silanol (Si-OH) dan gugus siloksan (Si-O-Si). Sifat adsorpsi silika gel ditentukan oleh orientasi dari ujung tempat gugus hidroksi yang berkombinasi (Hartono dkk., 2002). Ketidakteraturan susunan permukaan tetrahedral SiO_4 pada silika gel menyebabkan jumlah distribusi satuan luas bukan menjadi ukuran kemampuan adsorpsi silika gel walaupun gugus silanol dan siloksan terdapat pada permukaan silika gel. Kemampuan adsorpsi silika gel ternyata tidak sebanding dengan jumlah gugus silanol dan siloksan yang ada pada permukaan silika gel, namun bergantung pada distribusi gugus -OH per satuan luas adsorben (Oscik, 1982).

D. Proses Sol-gel

Sol-gel adalah suatu suspensi koloid dari partikel silika yang digelkan membentuk padatan. Sol adalah suspensi dari partikel koloid pada suatu cairan atau larutan

molekul polimer (Rahaman, 1995). Di dalam sol ini terdapat terlarut partikel halus dari senyawa hidroksida atau senyawa oksida logam. Proses tersebut kemudian dilanjutkan dengan proses gelasi dari sol tersebut untuk membentuk jaringan dalam suatu fasa cair yang kontinyu, sehingga terbentuk gel (Sopyan dkk., 1997).

Pada proses sol-gel, bahan dasar yang digunakan untuk membentuk sol dapat berupa logam alkoksida seperti TEOS. Rumus kimia dari TEOS adalah $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ (Gambar 1).



Gambar 1. Struktur TEOS (Brinker and Scherer, 1990).

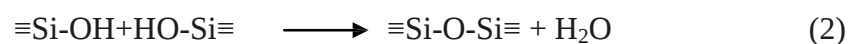
TEOS mudah terhidrolisis oleh air dan mudah digantikan oleh grup OH.

Selanjutnya silanol (Si-OH) direaksikan antara keduanya atau direaksikan dengan grup alkoksida non hidrolisis untuk membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si) dan mulailah terbentuk jaringan silika. Reaksi tersebut dapat dilihat dari persamaan (Prassas, 2002).

Hidrolisis



Polikondensasi



Proses sol-gel telah banyak dikembangkan terutama untuk pembuatan hibrida, kombinasi oksida anorganik (terutama silika) dengan alkoksilan (Fahmiati dkk., 2004). Penggunaan proses sol-gel untuk sintesis beberapa bahan hibrida anorganik-organik telah banyak dilakukan diantaranya yaitu dengan metode pembuatan hibrida silika terutama proses sol-gel untuk tujuan adsorpsi. Penggunaan TEOS yang digunakan sebagai bahan dasar yang dicampur dengan senyawa organik aktif 2-{2-{3-(trimetoksisilil)-propilamino}-etiltio} etanatiol (NSSH) (Airoidi and Ararki, 2001). Hibrida silika yang dihasilkan digunakan untuk adsorpsi logam divalen (Terrada *et al.*, 1983).

Berdasarkan penelitian Cestari *et al.*, (2000) immobilisasi etilendiamin pada permukaan silika gel dari prekursor TEOS melalui proses sol-gel digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi ion Cu(II), Hg(II) dan Co(II). Selain itu, ada pula modifikasi silika gel dari prekursor TEOS dengan 5-Amino-1, 3, 4-Tiadiazol-2-Tiol untuk adsorpsi beberapa ion logam berat yaitu Cu(II), Co(II), Ni(II), Cd(II), Pb(II), dan Hg(II) (Tzvetkova *et al.*, 2010). Untuk modifikasi silika gel, melalui proses sol-gel inilah lebih sederhana dan cepat karena reaksi pengikatan berlangsung bersamaan dengan proses pembentukan padatan, sehingga diharapkan ligan yang terimobilisasi lebih banyak (Sriyanti dkk., 2004).

E. Magnetit (Fe₃O₄)

Fe₃O₄ merupakan rumus kimia dari material magnetit. Magnetit mempunyai struktur spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, celah-celahnya ditempati oleh ion Fe²⁺ dan Fe³⁺. Beberapa sifat nanopartikel magnetit ini

bergantung pada ukurannya. Magnetit ini akan bersifat superparamagnetik ketika ukuran suatu partikel magnetisnya di bawah 10 nm pada suhu ruang, artinya bahwa energi termal dapat menghalangi anisotropi energi penghalang dari sebuah nanopartikel tunggal. Karena itu, sintesis nanopartikel yang seragam dengan mengatur ukurannya menjadi salah satu kunci masalah dalam ruang lingkup sintesis ini. Nanopartikel magnetit sangat intensif dikembangkan karena sifatnya yang menarik dalam aplikasinya di berbagai bidang, seperti fluida dan gel magnet, katalis, pigmen pewarna, dan diagnosa medik (Hook and Hall, 1991).

Magnetit (Fe_3O_4) atau oksida besi hitam merupakan oksida besi yang paling kuat sifat magnetisnya yang saat ini menarik perhatian para ilmuwan dan rekayasawan untuk mempelajarinya secara intensif (Teja and Koh, 2008). Magnetit yang berukuran nano banyak dimanfaatkan pada proses-proses industri (misalnya sebagai tinta cetak, pigmen pada kosmetik) dan pada penanganan masalah-masalah lingkungan (misalnya sebagai *magnetic carrier precipitation process* untuk menghilangkan anion ataupun ion logam dari air dan air limbah).

Nanopartikel magnetit juga dimanfaatkan dalam bidang biomedis baik secara *in vivo* (di dalam tubuh) maupun *in vitro* (di luar tubuh), misalnya sebagai agen magnetis pada aplikasi-aplikasi *biomolecule separation*, *drug delivery system*, *hyperthermia therapy*, maupun sebagai *contrast agent* pada *magnetic Resonance Imaging* (Cabrera *et al.*, 2008).

F. Ion Logam yang Digunakan

Bila ditinjau dari definisi asam-basa menurut G.N.Lewis, maka interaksi antara ion logam dengan adsorben dapat dipandang sebagai reaksi asam Lewis dengan

basa Lewis, yang mana ion logam berperan sebagai asam Lewis yang menjadi akseptor pasangan elektron dan adsorben sebagai basa Lewis yang menjadi donor pasangan elektron. Dengan demikian, prinsip-prinsip yang berlaku dalam interaksi asam-basa Lewis dapat digunakan dalam adsorpsi ion logam (Keenan dan Kleinfelter, 1984).

Prinsip yang digunakan secara luas dalam reaksi asam-basa Lewis adalah prinsip Hard and Soft Acid and Bases (HSAB) yang dikembangkan Pearson. Prinsip ini didasarkan pada polaribilitas unsur yang dikaitkan dengan kecenderungan unsur (asam atau basa) untuk berinteraksi dengan unsur lainnya. Ion-ion logam yang berukuran kecil, bermuatan positif besar, elektron terluarnya tidak mudah terdistorsi dan memberikan polarisabilitas kecil dikelompokkan dalam asam keras. Ion-ion logam yang berukuran besar, bermuatan kecil atau nol, elektron terluarnya mudah terdistorsi dan memberikan polarisabilitas yang besar dikelompokkan dalam asam lunak. Ion Ni(II) dan Zn(II) merupakan golongan asam menengah yang mana akan berinteraksi dengan ligan yang bersifat basa keras, sehingga diharapkan dapat berinteraksi dengan semua ion logam divalen tersebut (Huheey *et al.*, 1993).

Adapun logam yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Seng (Zn)

Seng adalah unsur kimia dengan lambang Zn, dengan nomor atom 30 dan massa relatif 65,39. Seng tidak diperoleh bebas di alam, melainkan dalam bentuk terikat. Mineral yang mengandung seng di alam bebas antara lain kelamin, franklinite,

smithsonit, willenit, dan zinkit. Seng merupakan logam putih kebiruan dan logam ini cukup reaktif. Seng melebur pada 410 °C dan mendidih pada 906 °C (Cotton dan Wilkinson, 1989).

2. Nikel (Ni)

Nikel merupakan unsur kimia dengan lambang Ni, dengan nomor atom 28 dan massa relatif 58,71. Nikel merupakan logam putih perak yang keras. Logam ini melebur pada 1455 °C, dan bersifat sedikit magnetis. Memiliki sifat tidak berubah bila terkena udara, tahan terhadap oksidasi dan kemampuan mempertahankan sifat aslinya di bawah suhu yang ekstrim (Cotton dan Wilkinson, 1989).

3. Timbal (Pb)

Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsinogenik, dapat menyebabkan mutasi, terurai dalam jangka waktu lama dan toksisitasnya tidak berubah (Brass & Strauss, 1981). Pb dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan, bahkan manusia. Masuknya Pb ke tubuh manusia dapat melalui makanan dari tumbuhan yang biasa dikonsumsi manusia seperti padi, teh dan sayur-sayuran. Logam Pb terdapat di perairan baik secara alamiah maupun sebagai dampak dari aktivitas manusia. Logam ini masuk ke perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Selain itu, proses korofikasi dari batuan mineral juga merupakan salah satu jalur masuknya sumber Pb keperairan (Palar, 1994).

Timbal secara alami terdapat sebagai timbal sulfida, timbal karbonat, timbal sulfat

dan timbal klorofosfat (Faust & Aly, 1981). Kandungan Pb dari beberapa batuan 7 kerak bumi sangat beragam. Batuan eruptif seperti granit dan riolit memiliki kandungan Pb kurang lebih 200 ppm. Timbal (Pb) merupakan logam yang bersifat neurotoksin yang dapat masuk dan terakumulasi dalam tubuh manusia ataupun hewan, sehingga bahayanya terhadap tubuh semakin meningkat (Kusnoputranto, 2006). Menurut Underwood dan Shuttle (1999), Pb biasanya dianggap sebagai racun yang bersifat akumulatif dan akumulasinya tergantung levelnya. Hal itu menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada ternak jika terdapat pada jumlah di atas batas ambang. Lebih lanjut Underwood dan Shuttle (1999) mencantumkan batas ambang untuk ternak unggas dalam pakannya, yaitu: batas ambang normal sebesar 1–10 ppm, batas ambang tinggi sebesar 20 – 200 ppm dan batas ambang toksik sebesar lebih dari 200 ppm.

4. Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) dalam sistem periode unsur termasuk logam golongan IB dengan nomor atom 29. Logam ini mudah ditempa sehingga mudah dibentuk, tidak reaktif secara kimiawi. Densitas pada 20 °C adalah $8,92 \text{ g cm}^{-3}$, meleleh pada suhu 1083 °C dan mendidih pada suhu 2570 °C. Tembaga dalam bentuk ion memiliki bilangan oksidasi +1 dan +2, tapi secara termodinamika stabil sebagai Tembaga (II) dengan struktur d^9 memiliki stereokimia berbeda-beda, biasanya segi empat atau oktahedral yang mengalami distorsi. Tembaga banyak terdapat sebagai sulfida, oksida atau karbonat, seperti bijih tembaga pirit, kalkopirit (CuFeS_2), tembaga glance kalkosit (Cu_2S), kuprit (Cu_2O) dan malasit ($\text{Cu}_2\text{CO}_3 (\text{OH})_2$). Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik (setelah perak)

karena itu logam tembaga banyak digunakan dalam bidang elektronika. Kehadiran sejumlah kecil pengotor, seperti arsen dapat mempengaruhi konduktivitasnya.

Tembaga dapat diekstrak dari bijih sulfidanya melalui proses termal yaitu pirometalurgi atau dengan proses pelarutan air yaitu hidrometalurgi.

Tembaga merupakan salah satu logam berat yang banyak pemanfaatannya, hal ini berkaitan dengan sifat tembaga yang siap pakai, tahan karat, konduktor listrik yang bagus dan tidak magnetik. Oksida tembaga (CuO) banyak digunakan sebagai katalis, baterai, dan elektroda (Triani, 2006). Tembaga digolongkan ke dalam logam berat esensial, artinya meskipun tembaga merupakan logam berat beracun, unsur logam ini dibutuhkan tubuh dalam jumlah sedikit. Tembaga (Cu) dalam jumlah kecil sangat diperlukan oleh makhluk hidup. Toksisitas yang dimiliki tembaga (Cu) baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait.

Pada manusia Cu dikelompokkan ke dalam metaloenzim di dalam sistem metabolismenya. Logam Cu dibutuhkan untuk sistem enzim oksidatif. Logam Cu juga dibutuhkan sebagai kompleks Cu -protein yang mempunyai fungsi tertentu pada pembentukan hemoglobin, pembuluh darah, kolagen dan myelin otak. Konsumsi Cu yang baik bagi manusia adalah 2.5 mg/kg berat tubuh orang dewasa dan 0.05 mg/kg berat tubuh untuk anak-anak dan bayi (Palar, 1994). Kompleks Cu -protein (Sukardjo, 1985). Sesuai sifatnya sebagai logam berat yang berbahaya, Cu dapat mengakibatkan keracunan baik secara akut maupun kronis. Keracunan akut dan kronis ini terjadinya ditentukan oleh besarnya dosis yang masuk dan

kemampuan mikroorganisme untuk menetralsir dosis tersebut.

5. Kadmium (Cd)

Kadmium (latin *cadmia*) adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cd dan nomor atom 48. Kadmium merupakan bahan alami yang terdapat dalam kerak bumi. Kadmium murni berupa logam berwarna putih perak dan lunak, namun bentuk ini tak lazim ditemukan di lingkungan. Umumnya kadmium terdapat dalam kombinasi dengan elemen lain seperti oksigen (*Cadmium Oxide*), klorin (*Cadmium Chloride*) atau belerang (*Cadmium Sulfide*) (Cotton dan Wilkinson, 1989). Kadmium sulfat oktahidrat ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) merupakan senyawa yang putih atau tak berwarna, tidak berbau, berbentuk kristal, kelarutan dalam air sebesar 1130 g/L pada temperatur 20 °C, titik leleh 41,5 °C, dan sering digunakan sebagai semikonduktor dalam industri karena sifat fisik dan kimianya yang baik (Housecroft and Sharpe, 2005).

Dalam tubuh logam ini bersifat toksik, karena bereaksi dengan ligan-ligan yang penting untuk fungsi normal tubuh (Alfian, 2005). Kadmium juga berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Menurut teori, pada konsentrasi rendah berefek terhadap gangguan pada paru-paru, *emphysema* dan *renal tubular disease acidosis* yang kronis (Susilawati, 2009).

G. Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses dimana suatu komponen bergerak dari suatu fasa menuju permukaan yang lain sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan. Zat yang diserap disebut adsorbat sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Secara umum ada dua jenis adsorpsi logam berat oleh mikroorganisme yaitu yang tidak bergantung pada mikroorganisme (*metabolism-independent*) yang terjadi pada permukaan sel dan adsorpsi yang bergantung pada metabolisme (*metabolism-dependent*) yang menyebabkan logam terakumulasi di dalam sel (Gadd dalam Lestari dkk., 2002). Proses ini terjadi pada dinding sel dan permukaan eksternal lainnya melalui mekanisme kimia dan fisika misalnya pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi itu sendiri. Gugus fungsi biomassa yang telah terimobilisasi pada pendukung berpori dengan metode entrapment sel akan terselubungi oleh pendukung.

Untuk menentukan jumlah logam teradsorpsi dan rasio distribusi pada proses adsorpsi ion logam terhadap adsorben hibrida amino silika dapat digunakan persamaan berikut:

$$Q = (C_o - C_e)V/W \quad (4)$$

$$\%A = (C_o - C_e)/C_o \times 100 \quad (5)$$

Dimana Q menyatakan jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg g^{-1}), C_o dan C_e menyatakan konsentrasi awal dan kesetimbangan dari ion logam (mmol L^{-1}), W adalah massa adsorben (g), V adalah volume larutan ion logam (L), A(%) Persentase teradsorpsi (Buhani *et al.*, 2009).

$$\% \text{ Ikatan ionik A-B} = 100 \cdot [1 - e^{-(1/4)(\chi_A - \chi)^2}]_B \quad (6)$$

Dimana: χ_A = Harga elektronegatifitas Pauling atom A

χ_B = Harga elektronegatifitas Pauling atom B

Hasil perhitungan karakter ikatan ionik antara ion logam dengan atom O dalam molekul air. Masing-masing harga elektronegatifitas Pauling (Missler and Tarr, 1991) adalah $\chi_{\text{Ni}} = 1,91$, $\chi_{\text{Cu}} = 1,9$, $\chi_{\text{Zn}} = 1,65$, $\chi_{\text{Cd}} = 1,69$, dan $\chi_{\text{Pb}} = 2,33$, $\chi_{\text{O}} = 3,44$, $\chi_{\text{N}} = 3,04$ seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase ikatan ionik hasil interaksi ion logam-ligan

Interaksi logam-ligan	Selisih Elektronegatifitas	Ikatan Ionik (%)	Ikatan Kovalen (%)
Ni-O	1,53	44,30	55,70
Ni-N	1,13	27,33	72,67
Cu-O	1,54	44,73	55,27
Cu-N	1,14	27,74	72,26
Zn-O	1,79	55,11	44,89
Zn-N	1,39	38,31	61,69
Cd-O	1,75	53,49	46,51
Cd-N	1,35	36,59	63,41
Pb-O	1,11	26,51	73,49
Pb-N	0,71	11,84	88,16

1. Adsorpsi Ion Logam

Adsorpsi menyangkut akumulasi atau pemusatan substansi adsorbat dan dapat terjadi pada antarmuka dua fasa. Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang

memiliki pori karena adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu di dalam adsorben. Proses adsorpsi terjadi akibat adanya interaksi melalui gaya Van der Waals, gaya elektrostatik, ikatan hidrogen dan ikatan kovalen. Gaya Van der Waals timbul karena adanya osilasi (kekuatan saling mempengaruhi) awan elektron dari atom atau molekul yang letaknya berdekatan. Osilasi tersebut menimbulkan gaya tarik menarik yang lemah antara atom atau molekul satu sama lain (Oscik, 1982).

Gaya elektrostatik timbul karena adanya gaya tarik menarik antara ion-ion yang berlawanan muatannya. Gaya tersebut akan menimbulkan tarikan ion-ion ke permukaan adsorben yang muatannya berlawanan. Ikatan hidrogen terjadi antara molekul jika atom hidrogennya berikatan secara kovalen dengan atom yang sangat elektronegatif. Ikatan kovalen terjadi karena penggunaan elektron secara bersama-sama atau pembentukan ikatan kompleks antara gugus donor dan akseptor elektron (Keenan and Kleinfelter, 1984).

Proses adsorpsi larutan secara teoritis berlangsung lebih rumit dibandingkan proses adsorpsi pada gas, uap atau cairan murni. Hal ini disebabkan pada adsorpsi larutan melibatkan persaingan antara komponen larutan dengan situs adsorpsi. Proses adsorpsi larutan dapat diperkirakan secara kualitatif dari polaritas adsorben dan komponen penyusun larutan. Kecenderungan adsorben polar lebih kuat menyerap adsorbat polar dibandingkan adsorbat non-polar, demikian pula sebaliknya. Kelarutan adsorbat dalam pelarut umumnya substansi hidrofilik sukar teradsorpsi dalam larutan encer (Shaw, 1983).

Proses adsorpsi padat cair dipengaruhi orientasi dari molekul yang teradsorpsi.

Orientasi dari molekul yang teradsorpsi tergantung pada dua hal yaitu: sifat interaksi antara permukaan adsorben dan molekul dan sifat interaksi antara molekul-molekul pada larutan. Adapun interaksi antara ion logam (adsorbat) dengan adsorben pada proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor :

a. Sifat Logam dan Ligan

Sifat ion logam yakni:

1. Ukuran ion logam, makin kecil ukuran ion logam maka kompleks yang terbentuk semakin stabil;
2. Polarisabilitas ion logam, makin tinggi polarisabilitas ion logam maka kompleks yang terbentuk semakin stabil, dan;
3. Energi ionisasi, makin tinggi energi ionisasi suatu logam maka kompleks yang terbentuk semakin stabil.

Sifat ligan yakni:

1. Kebasaan, makin kuat basa Lewis suatu ligan maka semakin stabil kompleks yang terbentuk;
2. Polarisabilitas dan momen dipol, makin tinggi polaritas dan polarisabilitas suatu ligan makin stabil kompleks yang terbentuk, dan;
3. Faktor sterik, tingginya rintangan sterik yang dimiliki oleh ligan akan menurunkan stabilitas kompleks (Huheey *et al.*, 1993).

b. Pengaruh pH Sistem

Selain dari faktor interaksi ion logam dalam logam, pelarut, pH sistem juga berpengaruh dalam proses adsorpsi. Pada kondisi pH tinggi maka silika bermuatan negatif (kondisi larutan basa) sedangkan pada pH rendah (kondisi larutan asam) akan bermuatan positif sampai netral (Spiakov, 2006). Pada pH rendah, permukaan ligan cenderung terprotonasi sehingga kation logam juga berkompetisi dengan H^+ untuk terikat pada ligan permukaan. Pada pH tinggi, dimana jumlah ion OH^- besar menyebabkan ligan permukaan cenderung terdeprotonasi sehingga pada saat yang sama terjadi kompetisi antara ligan permukaan dengan ion OH^- untuk berikatan dengan kation logam (Stumand Morgan, 1996).

c. Pelarut

Proses adsorpsi dapat ditinjau melalui sifat kepolaran baik dari adsorben, komponen terlarut maupun pelarutnya. Pada adsorpsi padat cair, mekanisme adsorpsi bergantung pada gaya interaksi antara molekul dari komponen larutan dengan lapisan permukaan adsorben dengan pori-porinya. Pelarut dapat ikut teradsorpsi atau sebaliknya dapat mendorong proses adsorpsi. Di dalam pelarut air umumnya zat-zat yang hidrofob dari larutan encer atau cenderung teradsorpsi lebih banyak pada adsorben dibanding zat hidrofil (Oscik, 1982).

Untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh ion-ion logam terlarut terutama yang banyak berasal dari limbah industri dengan konsentrasi yang cukup tinggi, perlu dilakukan upaya untuk mengurangi kerugian yang muncul dengan cara

meminimalkan kadar ion logam terlarut dalam limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan (Sinaga, 2009). Salah satu upaya untuk menurunkan pencemaran ion logam berat adalah melalui metode adsorpsi (Alloway and Ayres, 1997). Adsorpsi merupakan metode pengolahan limbah cair yang unggul dibandingkan dengan teknik lain. Proses adsorpsi menawarkan fleksibilitas dan keuntungan dalam desain dan operasi seperti adsorbennya dapat digunakan kembali, mudah dikerjakan dan murah (Oscik, 1982).

Banyak peneliti telah melakukan studi kemampuan suatu adsorben untuk menyerap ion logam (adsorbat) guna menangani pencemaran limbah logam cair. Seperti yang telah dilakukan oleh Becker (2002), menggunakan alga sebagai adsorben untuk menyerap logam Cd, Fe, Pb, Zn dan Cr. Munaf (1997), menggunakan adsorben sekam padi untuk menyerap logam Cr, Zn, Cu, dan Cd dari limbah cair. Yuniarti (1997), menggunakan adsorben selulosa dari sabut kelapa untuk menyerap logam Pb. Ledin dkk., (1996), menggunakan bakteri tanah untuk mengadsorpsi Cs, Sr, Pu, Zn, Cd dan Hg. Astrina (2003), menggunakan adsorben selulosa dari pelepah pisang gedah untuk menyerap ion logam Cd. Mitani dkk., (1991), telah menggunakan kitosan untuk mengadsorpsi Hg dan masih banyak lagi peneliti terdahulu yang telah melakukan penelitian mengenai hal ini baik menggunakan variasi jenis logam dan berbagai jenis adsorben baik organik maupun anorganik.

Penggunaan adsorben anorganik seperti yang dilakukan oleh Lesbani (2011), yakni pasir kuarsa. Adapula yang menggunakan adsorben organik seperti kitin dan kitosan dari cangkang kepiting maupun kulit udang (Lesbani dkk., 2002), selulosa

dan lignin dari serbuk kayu industri mebel, pelepah pisang dan serabut kelapa. Supriyanto (2014), telah melakukan penelitian uji adsorpsi ion logam Ca(II) , Cu(II) dan Cd(II) dengan biomassa *Porphyridium* sp. Suryani (2013), telah melakukan penelitian adsorpsi ion logam Ni(II) dan Zn(II) dengan menggunakan biomassa alga *Tetraselmis* sp. Wijayanti (2015), telah melakukan penelitian adsorpsi ion logam Cd(II) , Cu(II) , dan Pb(II) oleh biomassa *Spirulina* sp. yang diimmobilisasi dengan silika magnetit. Penelitian yang dilakukan diatas pada umumnya hanya dilakukan untuk proses penyerapan tanpa adanya kajian lebih lanjut. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan studi pelepasan kembali logam yang telah terserap yang biasa di sebut dengan proses desorpsi.

H. Desorpsi

Berbagai metode pemisahan logam berat dari air buangnya secara biologis pada dasarnya belum dapat menyelesaikan masalah pada lingkungan yang ada, bahkan dapat menimbulkan masalah baru khususnya bagi lingkungan perairan jika adsorben yang telah mengikat logam toksik tidak diolah lebih lanjut. Oleh karena itu perlu dipikirkan cara-cara/metode yang efektif untuk mengolah kembali mikroorganisme yang telah menyerap logam-logam berat tersebut agar benar-benar aman bagi lingkungan. Salah satu caranya yakni dengan melepaskan kembali logam berat yang telah diserap mikroorganisme (desorpsi). Desorpsi merupakan proses pelepasan kembali spesi-spesi yang telah berikatan dengan sisi aktif dari permukaan mikroorganisme sebagai biosorben. Selain untuk mengatasi permasalahan yang timbul akibat proses adsorpsi, desorpsi juga dapat digunakan untuk meregenerasi biosorben sehingga dapat digunakan kembali serta dapat

mengekstrak logam yang telah terikat pada biosorben. Untuk tujuan ini diperlukan agen pendesorpsi yang mampu meregenerasi biomassa tapi tidak menyebabkan kerusakan pada adsorben. Berbagai larutan dapat digunakan untuk mendesorpsi logam berat dari biosorben. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa asam mineral encer dapat digunakan untuk mendesorpsi logam berat dari biosorben. Beberapa asam mineral encer seperti HCl dapat digunakan untuk mendesorpsi ion logam dari biomassa. Pelepasan ion logam yang telah teradsorpsi dapat dilakukan dengan cara menurunkan harga pH (http://www.biosorption.mc_gill.co/publication/Bvspain.htm, 2005).

Mekanisme desorpsi yaitu logam dielusi dari biosorben oleh larutan pengelusi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biomassa dapat dielusi dan diregenerasi dengan beberapa pelarut organik seperti metanol, etanol (Aksu, 2005) atau dengan pelarut anorganik seperti HCl, H_2SO_4 , HNO_3 , dan EDTA (Saeed dan Iqbal, 2003). Penelitian tentang desorpsi oleh Wankasi, (2005) menyatakan bahwa HCl sebagai agen desorpsi terbaik.

Hal ini disebabkan pada medium asam, gugus karboksil, karbonil, atau hidroksil pada adsorben menjadi terprotonasi dan tidak menarik ion logam yang bermuatan positif, sehingga terjadi pelepasan ion-ion logam ke dalam larutan atau agen desorpsi. Untuk kepentingan dunia industri, beberapa parameter yang menentukan efektif atau tidaknya suatu proses biosorpsi sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah logam berat antara lain adalah kapasitas serapan maksimum dari biosorben, efisiensi dan selektifitas serta tingkat kemudahan pengambilan kembali logam dari biosorben. Untuk tujuan ini diperlukan agen pendesorpsi yang

mampu menyerap logam dan meregenerasi material biosorben. Agen pendesorpsi ini harus;

- a) Dapat mengambil logam dari biosorben.
- b) Dapat memulihkan biosorben hingga mendekati kondisi awalnya.
- c) Tidak menyebabkan kerusakan atau perubahan fisik pada biosorben (Vogel, 1990).

Wankasi (2005) meneliti proses desorpsi ion logam Pb(II) dan Cu(II) dengan biomassa *Nypa Fruticans Wurmb* dilakukan dengan menggunakan asam, basa, dan larutan netral. Kemudian persentase ion logam Cu(II) dan Pb(II) dihitung menggunakan rumus:

$$\% \text{ Desorpsi} : \frac{\text{jumlah ion logam terdesorpsi}}{\text{Jumlah ion logam teradsorpsi}} \times 100 \quad (7)$$

Maka diperoleh % desorpsi dari ion logam yang terdesorpsi. Desorpsi terjadi bila proses adsorpsi yang terjadi sudah maksimal, permukaan adsorben jenuh/tidak mampu lagi menyerap adsorbat dan terjadi kesetimbangan. Desorpsi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan larutan tertentu untuk memulihkan kemampuan biomassa agar tidak rusak dan dapat digunakan kembali. Larutan yang biasa digunakan untuk desorpsi yaitu HCl, H₂SO₄, asam asetat, dan HNO₃ dengan konsentrasi yang bervariasi tergantung pada jenis alga dan logam yang diserap (Volesky and Diniz, 2005).

Air dapat digunakan sebagai salah satu medium pelarut, karena air memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

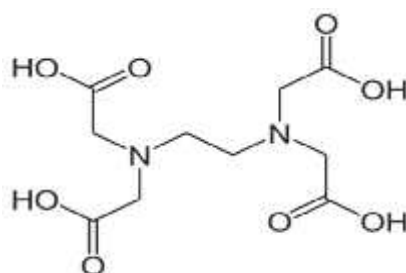
- Air memiliki daerah cair yang luas, yaitu titik beku 0 °C dan titik didih 100 °C.
- Air merupakan senyawa polar sehingga memiliki kemampuan yang tinggi untuk melarutkan bahan-bahan anorganik, umumnya bersifat ionik maupun polar.
- Air memiliki sifat netral, artinya air tidak bersifat asam dan tidak bersifat basa dan dapat mengalami disosiasi

Syarat agar suatu senyawa dapat dilarutkan dalam air adalah:

- Apabila ikatan antara zat terlarut dengan molekul air lebih kuat daripada ikatan antara molekul air, terutama ikatan hidrogen.
- Ikatan antara partikel dalam zat terlarut lebih lemah daripada ikatan antara zat terlarut dengan molekul air (Missler dan Tarr, 1991).

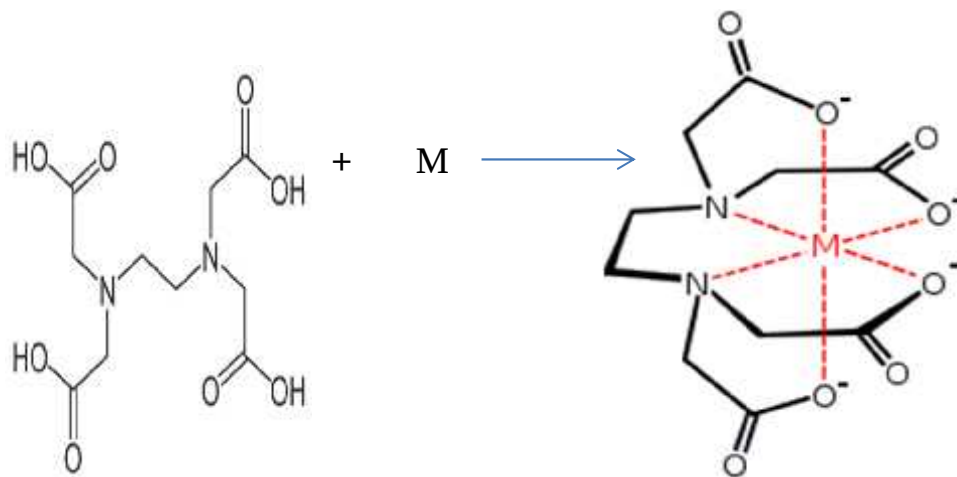
Ion EDTA merupakan komplekson, komplekson adalah zat-zat yang dapat membentuk senyawa kompleks khelat dengan ion logam. Ion EDTA terdapat sebagai kristal H_4Y dan kristal garam dinatriumnya, Na_2H_2Y (Harjadi, 1993).

Adapun struktur senyawa EDTA ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur EDTA

Ion EDTA memiliki enam pasang elektron yang belum berikatan (masing-masing pada 2 atom N dan 4 gugus karboksil) mampu membentuk kompleks dengan ion logam. Ion EDTA merupakan asam tetraprotik, biasa disingkat H_4Y . Bentuk terionisasinya, Y^{4-} dan apabila bereaksi dengan ion logam (M), membentuk kompleks MY^{2-} . Adapun reaksinya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi pembentukan kompleks EDTA

Ion EDTA merupakan ligan heksadentat, reaksinya dengan ion logam membentuk kompleks EDTA oktahedral sebagaimana gambar di atas.

I. Karakterisasi

1. Spektrofotometer Inframerah (IR)

Spektrofotometri inframerah dari suatu molekul merupakan hasil transisi antara tingkat energi getaran (vibrasi) atau osilasi (*oscillation*). Bila molekul menyerap radiasi inframerah, energi yang diserap menyebabkan kenaikan dalam amplitudo getaran atom-atom yang terikat itu. Panjang gelombang eksak dari adsorpsi oleh suatu tipe ikatan, bergantung pada macam getaran dari ikatan tersebut. Oleh

karena itu, tipe ikatan yang berlainan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang yang berlainan. Menurut Khopkar (2001) spektrum serapan IR merupakan suatu perubahan simultan dari energi vibrasi dan energi rotasi dari suatu molekul. Kebanyakan molekul organik cukup besar sehingga spektrum peresapannya kompleks. Konsep dasar dari spektra vibrasi dapat diterangkan dengan menggunakan molekul sederhana yang terdiri dari dua atom dengan ikatan kovalen.

2. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Metode analisis dengan SSA didasarkan pada penyerapan energi cahaya oleh atom-atom netral suatu unsur yang berada dalam keadaan gas. Penyerapan cahaya oleh atom bersifat karakteristik karena tiap atom hanya menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu yang energinya sesuai dengan energi yang diperlukan untuk transisi elektron-elektron dari atom yang bersangkutan ditingkat yang lebih tinggi sedangkan energi transisi untuk masing-masing unsur adalah sangat khas.

Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode spektroskopi emisi konvensional. Pada metode konvensional emisi tergantung pada sumber eksitasi, bila eksitasi dilakukan secara termal maka akan tergantung pada temperatur sumber (Khopkar, 2001). Dalam proses adsorpsi, keberhasilan pembuatan adsorben tercetak ion dapat dilihat menggunakan SSA. Adsorben yang telah tercetak ion diharapkan mengandung konsentrasi ion logam yang kecil.

SSA juga dapat digunakan untuk mengetahui kadar ion logam yang teradsorpsi maupun yang terdapat dalam adsorben. Ion logam yang teradsorpsi dihitung secara kuantitatif berdasarkan selisih konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi (Yuliasari, 2003).

3. X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar X (*X-ray Diffractometer*), atau yang sering dikenal dengan XRD, adalah merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Dengan kata lain, teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

Kegunaan XRD antara lain :

Membedakan antara material yang bersifat kristal dengan amorf

Karakterisasi material kristal

Identifikasi mineral-mineral yang berbutir halus seperti tanah liat

Penentuan dimensi-dimensi sel satuan

Dengan teknik-teknik yang khusus, XRD dapat digunakan untuk:

1. Menentukan struktur kristal dengan menggunakan *rietveld refinement*
2. Analisis kuantitatif dari mineral
3. Karakteristik sampel film

Dari penggunaan X-ray Difraktometer tersebut, kita akan memperoleh suatu pola

difraksi dari bahan yang kita analisis. Dari pola tersebut, kita akan mendapatkan beberapa informasi antara lain :

1. Panjang gelombang sinar X yang digunakan (λ)
2. Orde pembiasan/kekuatan intensitas (n)
3. Sudut antara sinar datang dengan bidang normal (θ)

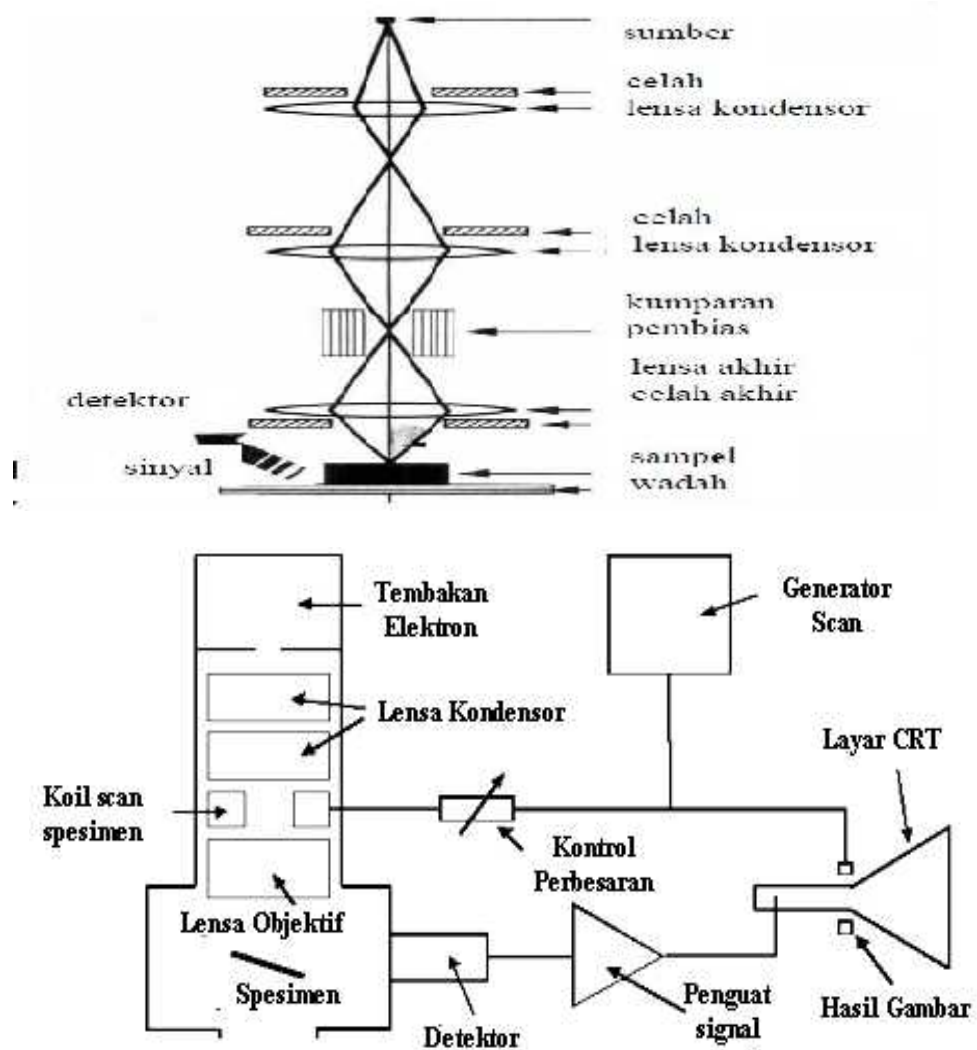
4. *Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)*

SEM adalah sebuah instrumen berkekuatan besar dan sangat handal yang dipadukan dengan EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) sehingga dapat digunakan untuk memeriksa, observasi, dan karakterisasi struktur terkecil benda- benda padat dari material organik maupun anorganik yang heterogen serta permukaan bahan dengan skala mikrometer bahkan sampai sub-mikrometer yang menggunakan sumber medan emisi dan mempunyai resolusi gambar 1,5 nm, sehingga kita dapat menentukan sifat dari bahan yang diuji baik sifat fisis, kimia maupun mekanis yang dapat mempengaruhi mutu dan kualitas dari suatu produk, dengan demikian kita dapat mengembangkan produk tersebut melalui informasi ukuran partikel dari mikro struktur yang terbentuk dan komposisi unsurnya.

Bagian terpenting dari SEM adalah apa yang disebut sebagai kolom elektron (*elektron column*) yang memiliki piranti-piranti sebagai berikut:

1. Pembangkit elektron (*elektron gun*) dengan filamen sebagai pengemisi elektron atau disebut juga sumber iluminasi;
2. Sebuah sistem lensa elektromagnetik yang dapat dimuati untuk dapat memfokuskan atau mereduksi berkas elektron yang dihasilkan filamen ke

- diameter yang sangat kecil;
3. Sebuah sistem perambah (*scan*) untuk menggerakkan berkas elektron terfokus tadi pada permukaan spesimen;
 4. Satu atau lebih sistem deteksi untuk mengumpulkan hasil interaksi antara berkas elektron dengan spesimen dan merubahnya kesignal listrik.
 5. Sebuah konektor kepompa vakum.



Gambar 4. Skema SEM, prinsip kerja SEM (Linia, 2010).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan selama bulan Maret sampai dengan Juli.

Pengambilan biomassa alga *Porphyridium* sp. dilakukan di Balai Besar

Pengembangan Budidaya Laut Lampung (BBPBL). Sintesis dilakukan di

Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi

menggunakan spektrofotometer IR dilakukan di Laboratorium Kimia Organik,

karakterisasi menggunakan XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar, dan

analisis menggunakan SSA dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA

Universitas Gajah Mada. Identifikasi morfologi permukaan dan konstituen unsur

menggunakan SEM-EDX dilakukan di UPT FMIPA Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain gelas kimia, wadah

plastik, spatula, neraca analitis, pengaduk magnetik, batang pengaduk, oven, pH

indikator universal, aluminium foil, pengaduk, shaker, sentrifius, tabung

erlenmeyer, kertas saring *Whatman* No.42, sentrifius, XRD, spektrofotometer

Inframerah (IR), SEM-EDX dan SSA.

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah TEOS (tetraetilortosilikat), aquabides, etanol p.a Merck, etanol teknis, aquades, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CdSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{PbSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, HCl , NH_3 , HNO_3 , CH_3COONa , NH_4OH , FeSO_4 , EDTA, Fe_3O_4 dan biomassa alga *Porphyridium* sp.

C. Prosedur Penelitian

1. Pembuatan Biomassa Alga *Porphyridium* sp.

Biomassa alga *Porphyridium* sp. yang diperoleh dari pembudidayaan dalam skala laboratorium di Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut Lampung (BBPBL) dalam bentuk gel. Gel yang diperoleh kemudian dikering anginkan selama 3 hari, kemudian alga dinetralkan dengan aquades hingga $\text{pH} \approx 7$. Selanjutnya dioven pada suhu 40°C selama 2-3 jam. Setelah dioven alga digerus hingga halus.

2. Sintesis

a) Sintesis hibrida silika magnetit (HAS-M) *Porphyridium* sp.

Sebanyak 5 mL TEOS dimasukkan ke dalam 2,5 mL aquades, kemudian ditambahkan magnetit 0,1 g, dimasukkan ke dalam wadah plastik, diaduk selama 30 menit. Saat pengadukan, ditambahkan HCl tetes demi tetes hingga pH larutan mencapai pH 2 (Larutan A). Di wadah lain, biomassa *Porphyridium* sp. dengan konsentrasi optimum dicampur dengan 5 mL etanol, kemudian diaduk selama 30

menit (Larutan B). Selanjutnya (Larutan A) di campur dengan (Larutan B) disertai pengadukan hingga larutan menjadi homogen dan membentuk suatu gel. Gel yang terbentuk kemudian didiamkan selama 24 jam. Gel dicuci menggunakan aquades dan etanol hingga pH filtrat menjadi 7. Lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 40 °C selama 2-3 jam (Buhani dan Suharso, 2009).

3. Karakterisasi Material

Endapan hitam yang terbentuk pada pembuatan magnetit dikeringkan dan dianalisis dengan spektrofotometer XRD untuk mengetahui tingkat kekristalan dan mengidentifikasi hasil sintesis magnetit (Fe_3O_4) apakah telah berhasil disintesis. Endapan hasil sintesis hibrida alga silika magnetit (HAS-M) dianalisis menggunakan spektrofotometer IR untuk mengetahui gugus-gugus fungsional dan perubahan gugus-gugus fungsional utama dalam material alga. Analisis menggunakan Spektrofotometer *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan pada HAS-M dan perubahan morfologi permukaan dalam HAS-M setelah proses adsorpsi dan desorpsi.

4. Uji Adsorpsi–Desorpsi

a. Monologam

Sebanyak 1 gram HAS-M *Porphyridium* sp. ditempatkan pada erlenmeyer 250 mL . Kemudian ditambahkan 100 mL larutan ion Ni(II) dengan konsentrasi 300 mg L⁻¹ dengan pH optimum. Adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch*

menggunakan shaker selama 60 menit pada suhu 27 °C dan dilakukan sentrifugasi selama 30 menit dengan kecepatan 350 rpm. Volume filtrat yang di hasilkan dianalisis dengan SSA. Kemudian endapan adsorben yang diperoleh dielusi dengan aquades dan dilanjutkan dengan HCl 0,1 M , dan EDTA 0,1 M. Filtrat hasil elusi dianalisis kadarnya menggunakan SSA. Perlakuan yang sama diberikan pada larutan ion Cd(II) dan Cu(II).

b. Multilogam

Sebanyak 1 gram adsorben ditempatkan pada erlenmeyer 250 mL kemudian ditambahkan 100 mL larutan multilogam Pb(II), Cd(II), Cu(II), Zn(II), dan Ni(II), dengan konsentrasi 300 mg/L dengan pH optimum. Adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch* menggunakan shaker selama 60 menit pada suhu 27 °C dan dilakukan sentrifugasi selama 30 menit dengan kecepatan 350 rpm. Dipisahkan antara filtrat dan endapan, Volume filtrat yang di hasilkan dianalisis dengan SSA kemudian endapan adsorben yang diperoleh dilakukan analisis menggunakan SEM-EDX. Endapan yang diperoleh dielusi dengan aquades dan dilanjutkan dengan HCl 0,1 M, dan EDTA 0,1 M. Filtrat hasil elusi dianalisis kadarnya menggunakan SSA dan endapan setelah dielusi dianalisis menggunakan SEM-EDX.

5. Stabilitas Kimia

Untuk mengetahui stabilitas kimia adsorben, sebanyak 0,1 gram material dimasukkan ke dalam 100 mL masing-masing pelarut, yaitu larutan HNO₃ 0,1 M

(pH 1,35) CH_3COONa 0,1 M (pH 5,22), dan air (pH 9,34) dengan variasi waktu 1 sampai 4 hari. Kadar Si yang terlarut dalam filtrat dianalisis dengan menggunakan SSA. Endapan yang tersisa dikeringkan dan dianalisis dengan spektrofotometer IR. Persentase Si yang tersisa dalam adsorben di hitung berdasarkan persamaan; $\% \text{ Si tersisa} = [\text{Si}]_t / [\text{Si}]_0 \times 100$, dimana $[\text{Si}]_0$ adalah konsentrasi Si awal dalam material adsorben dan $[\text{Si}]_t$ adalah konsentrasi Si terlarut masing-masing pada waktu t dalam mg L^{-1} .

6. Penggunaan Ulang

Setelah logam yang teradsorpsi pada adsorben dilepaskan pada proses desorpsi diatas, dengan menggunakan larutan aquades, HCl 0,1 M, EDTA 0,1 M, sebagai eluen. Adsorben yang diperoleh dicuci dengan akuades sampai netral, kemudian adsorben digunakan lagi untuk mengadsorpsi ion logam. Perlakuan terus dilakukan sampai kapasitas adsorpsi terendah.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil karakterisasi material hibrida alga silika magnetit (HAS-M) *Porphyridium* sp. membuktikan bahwa sintesis telah berhasil dilakukan.
2. Adsorpsi larutan monologam oleh adsorben HAS-M *Porphyridium* sp. menunjukkan urutan kemampuan ion logam teradsorpsi sebagai berikut:
 $\text{Cd(II)} > \text{Cu(II)} > \text{Ni(II)}$ sedangkan desorpsi monologam dengan eluen akuades, HCl, dan NaEDTA menunjukkan urutan $\text{Cd(II)} > \text{Cu(II)} > \text{Ni(II)}$.
3. Adsorpsi larutan multilogam oleh adsorben HAS-M *Porphyridium* sp. menunjukkan urutan kemampuan ion logam teradsorpsi sebagai berikut:
 $\text{Pb(II)} > \text{Cd(II)} > \text{Zn(II)} > \text{Cu(II)} > \text{Ni(II)}$ sedangkan desorpsi multilogam menunjukkan urutan $\text{Zn(II)} > \text{Cd(II)} > \text{Cu(II)} > \text{Ni(II)} > \text{Pb(II)}$.
4. Stabilitas kimia material HAS-M *Porphyridium* sp. menunjukkan kestabilan dalam media asam, netral dan tidak stabil dalam media basa.
5. Penggunaan ulang adsorben cukup efektif digunakan kembali sebanyak 4 siklus pengulangan.

B. Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut terhadap ion Ni(II), Cd(II), Cu(II), Pb(II), dan Zn(II) dengan menggunakan metode kontinyu sehingga dapat diaplikasikan ke skala yang lebih besar di lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Airoidi, C. and L. N. N. Ararki. 2001. Immobilization of Ethlene sulfaide of Silica Surface Throught Sol-Gel Process and Some Thermodynamic Data of Divalent Cation Interaction. *Polyhedron*. **20**: 929-936.
- Aksu Z. 2005. Application of Biosorption for The Removal of Organic Pollutants: A Review. *Process Biochemistry*. 40, 997–1026.
- Alfian, Zul. 2005. *Analisis Kadar Logam Kadmium (Cd^{2+}) dari Kerang yang Diperoleh dari Daerah Belawan secara Spektrometri Serapan Atom*. Jurnal Sains Kimia. Vol 9, No.2, 2005: 73-76.
- Al-Homaidan A. A., H. J. Al-Houri, A. A. Al-Hazzani, G. Elgaaly, and N. M. S. Moubayed. 2013. Biosorption of copper ions from aqueous solutions by *Spirulina plantesis* biomass. *Arabian Journal of Chemistry*. 7(1): 57–62.
- Alloway, B.J. and D. C. Ayres. 1997. *Chemical Principles of Environment Pollution*. 2nd edition. Blackie Academic & Profesional. London.
- Arad S. M and Cohen 1989. *Closed system for outdoor cultivation of Porphyridium*. Biomass 18:59-67.
- Astrina, F.E. 2003. *Adsorpsi ion logam Cd (II) dengan menggunakan plepah pisang gedah (Musa paradisica.L)*. Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Becker, E. W. 2002. Limitation Of Heavy Metal Removal from Waste By Means Of Alga. *Journal of Environmental Science*. 4,459-462.
- Becker, E. W. 1994. *Microalgae Biotechnology and Microbiology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bold, H. C. dan Wyne, M. J. 1985. *Introduction To The Algae*, Second Edition. Prentice-Hall Mc. Engelwood Cliffs NewYork.
- Borowitzka, M. A. 1988. *Algal Growth Media And Sources Of Algal Cultures*. In : Borowitzka, M. A & L. J Borowitzka (Eds) *Microalga Biotechnology*. Cambridge University Press: Cambridge. pp. 456-465

- Brass, G. M. and W. Strauss. 1981. *Air Pollution Control*. John Willey & Sons. New York.
- Brinker, C. J., and G. W. Scherer. 1990. *Applications in Sol Gel Science, the Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press, Inc. San Diego, California. pp 839-880.
- Buhani, Suharso, and Zipora Sembiring. 2006. Biosorption of Metal Ions Pb(II), Cu(II), and Cd (II) on *Sargassum duplicatum* Immobilized Silica Gel Matrix. *Indonesian Journal Chemistry*. 6(3): 245-250.
- Buhani, Narsito, Nuryono and E. S. Kunarti. 2009. Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indonesian Journal Chemistry*. 9(2): 170-176.
- Buhani and Suharso. 2009. Immobilization of *Nannochloropsis* sp biomass by sol-gel technique as adsorbent of metal ion Cu(II) from aqueous solution. *Asian Journal Chemistry*, 21 (5) : 3799-3808.
- Buhani, Zipora S, Suharso, and Sumadi. 2009. The Isothermic Adsorption Of Pb(II), Cu(II) And Cd(II) Ions On *Nannochloropsis* sp Encapsulated By Silica Aqua gel. *Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Lampung University*. Bandar Lampung.
- Buhani, Narsito, Nuryono and E. S. Kunarti. 2010. Production of Metal Ion Imprinted Polymer from Mercapto-Silica through Sol-Gel Process as Selective Adsorbent of Cadmium. *Desalination*. 251: 83-89.
- Buhani, Suharso, and H. Satria. 2011. Hybridization of *Nannochloropsis* sp Biomass-Silica Through Sol-Gel Process to Adsorb Cd(II) ion In Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*. 51(4): 467-476.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2012. Production of Ionic Imprinted Polymer from *Nannochloropsis* sp Biomass and its Adsorption Characteristic toward Cu(II) Ion in Solutions. *Asian Journal Chemistry*. 24(1): 133-140.
- Cabrera, L., S. Gutierrez, N. Menendez, M.P. Morales. and P. Herrasti. 2008. Magnetite Nanoparticles: Electrochemical Synthesis and Characterization. *Electro chimica Acta*, 53: 3436-3441.
- Cestari, A. R., E. F. S. Vieira, J. A. Simoni and C. Airoidi . 2000. Thermochemical Investigation on The Adsorption of Some Divalent Cations on Modified Silicas Obtained from Sol-Gel Process. *Analytical Chimica Acta*. 195: 338-342.
- Ciferri, O. 1983. Spirulina The Edible microorganism. *Microbial Review*. American Society.

- Cotton, F. A. dan G. Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Terjemahan Sahati Suharto. Penerbit Universitas Indonesia (UI Press). Jakarta.
- Deng, Y., C. Wang, J. Hu., W. Yang., S. Fu. 2005. "Investigation Of Formation Of Silica-Coated Magnetite Nanoparticles Via Sol-Gel Process Approach. *J. Colloid Surfaces. Science*. 262, 87.
- Dwiyanto, 2013. *Adsorpsi Ion Ni(II), Cu(II), Zn(II), Cd(II), Dan Pb(II) Dalam Larutan Oleh Alga Chaetoceros sp Dengan Pelapisan Silika-Magnetit*. (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Elizabeth, I.R. 2011. *Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Silika (SiO₂) dari Sekam Oleh Fusarium Oxyporum*. (Skripsi). ITB. Bandung.
- Fahmiati, Nuryono dan Narsito. 2004. *Kajian Kinetika Adsorpsi Cd(II), Ni(II) dan Mg(II) Pada Silika Gel Termodifikasi 3-Merkapto-1,2,4-Triazol*. *Alchemy*. 3(2): 22-28.
- Fatriyah, S. 2007. *Studi Awal Pemanfaatan Alga Hijau Dan Karakterisasinya Sebagai Biosorben Ion Logam Pb²⁺, Co²⁺, Dan Cu²⁺*. Departemen Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Depok.
- Faust, S. D. and O. M. Aly. 1981. *Chemistry of Natural Waters*. Ann Arbor Science Publishers, Inc. Michigan. pp. 399.
- Gupta, V.K. and A. Rastogi, 2008. Biosorption Of Lead From Aqueous Solution By Green Algae *Spyrogyra* Species: Kinetics And Equilibrium Studies. *Journal Hazard Mater*. 152:407-414.
- Harjadi. 1993. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. Gramedia. Jakarta.
- Harris, O. P. and J. G. Rammelow. 1990. Binding Of Metal Ions by Particulate Quadricauda. *Environmtent Scient and Technology*. 24: 220-227.
- Hartono, Y. M. V., A. R. W. Barbara, Suparta, Jumadi dan Supomo. 2002. *Pembuatan SiC dari Sekam Padi*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Keramik. Bandung.
- Haryoto, dan Wibowo, A., 2004. *Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium Oleh Fitoplankton Chorella sp*. *Lingkungan Laut Perairan Laut*. 5 (2), 89-103.
- Hook, J. R., & H. E. Hall. 1991. *Solid state physics. 2nd edition*. John Willey & Sons: England/Chichester. hal:241
- Housecroft, C. E. and A. G. Sharpe. 2005. *Inorganik Chemistry. Printice-Hall*,

Inc. New Jersey.

- Huheey, J. E., E. A. Keiter and R. L. Keiter. 1993. *Inorganic Chemistry: Principles of Structure and Reactivity*. 4th edition. Harpelcolling College Publisher. New York.
- Husin, G. and C. M. Rosnelly. 2005. *Studi kinetika adsorpsi larutan logam timbal menggunakan karbon aktif dari batangpisang.(Tesis)*. Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darrusalam. Banda Aceh.
- Jeon, P. 2011, Adsorption Characteristic of Cooperation Using Magnetically Modifield Medicinal Stones. *Journal Chemistry. Eng*, **17**: 1487-1493
- Keenan, C. W. dan W. Kleinfelter. 1984. *Ilmu Kimia untuk Universitas Edisi keenam*. Terjemahan Aloysius Hadyana Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta. Hal. 512-543.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta
- Krauskopf, K. B. 1979. Introduction To Geochemistry. *International Series In The Earth And Planetary Scienes* (pp. 544–545). Mc Graw-Hill. Tokyo.
- Kusnoputranto, H. 2006. *Toksikologi Lingkungan, Logam Toksik dan Berbahaya*. FKM-UI Press dan Pusat Penelitian Sumber Daya Manusia dan Lingkungan. Jakarta.
- Ledin. L, Pederson. K, Allard, B. 1996. *Effect of Hand Ionic Strength on the Adsorption Cs, Sr, Eu, Zn, Cd and Hg by Pseudomonas Putia, Water, Air And Soil Pollution*. 367, 2381.
- Lesbani, A. 2011. *Studi Interaksi Vanadium dan Nikel Dengan Pasir Kuarsa*. Jurnal Penelitian Sains. 14,4, 14410-43-46.
- Lesbani, A, Yusuf, S. 2002. *Karakteristik Adsorpsi Besi(II) Pada Kitin Dari Scylla serrata*. Forum MIPA, FKIP Universitas Sriwijaya, 7,3, 38-44.
- Lestari, T, Agus, T, Prianto. 2002. *Pengaruh pH dan Konsentrasi Awal Terhadap Adsorpsi Tembaga oleh Saccaromyces cerevisiae yang terimobilisasi pada silika gel*. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Li, G., Su, H., Li, J, and Tianwei, T., 2007. Application of surface molecular imprinting adsorbent in expanded bed for the adsorption of Ni²⁺ and adsorption model. *Journal of management.*, 85:900-907.
- Lin, Y., H. Chen., K. Lin., B. Chen., and C. Chiou. 2011. Application of

- Magnetic Particles Modified with Amino Groups to Adsorb Copper in aqueous Solution. *Journal Environment. Science*, **23**: 44-50.
- Linia. 2010. *Pengaruh Temperatur Terhadap Struktur Kristal Dan Morfologi Lapisan $TiCl_4$ Pada Pelapisan Logam Dengan Menggunakan Metode Sol-Gel*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Medan. Medan.
- Liu, Y., Y. Zeng, W. Xu, C. Yang., and J. Zhang. 2010. Biosorption of copper(II) by Immobilizing *Saccharomyces cerevisiae* on the Surface of Chitosan-Coated Magnetic Nanoparticles from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*. 177. 676-682.
- Mitani, T., Yamashita, T., Okumura, C, Ishii, H. (1991). Effect of Counter Ion (SO_4^{2-} and Cl^-) on the Adsorption of Copper And Nickel Ions by Swollen Chitosan Beads, *Agricultural and Biological Chemistry*, **55**, 2419.
- Munaf, E, Zein. R. (1997). The Use Of Rice Husk for Removal of Toxic Metal from Waste Water, *Journal of Environmental Technology*, **16**, 1-4.
- Martell, A. E., and R. D. Hancock. 1996. *Metal Complexes in Aqueous Solution*. Plenum Press. New York.
- Missler, G.L., and Tarr, D. A. 1991. *Inorganic Chemistry*. Prentice Hall. New Jersey. 51.
- Na, J., X. Chang, H. Zheng, Q. He and Z. Hu. 2006. Selective Solid-Phase Extraction of Ni(II) Using a Surface-Imprinted Silica Gel Sorbent. *Analytical Chemistry Acta*. **577**: 225–231.
- Nuzula, F. 2004. *Adsorpsi Cd^{2+} , Ni^{2+} , dan Mg^{2+} pada 2-Merkapto Benzimidazol yang diimobilisasikan pada Silika Gel*. (Tesis). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Ellis Horwood Limited. England.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. PT Rineka Cipta. Jakarta.
- Pankhurst, Q. A., J. Connolly., S. K. Jones., and J. Dobson. 2003. “Applications of magnetic nano particles in biomedicine”, *Journal Physical*. **36**:R167-R181.
- Peng, Q., Y. Liu., G. Zeng., W. Xu., C. Yang., and J. Zhang. 2010, Biosorption

of Copper (II) Immobilizing *Saccharomyces cerevisiae* on the Surface of Chitosan Coated Magnetic nanoparticle from aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*. **177**: 676-682

Prassas, M. 2002. *Silica Glass from Aerogels*, <http://www.solgel.com>

Putra, S. E. 2006. *Tinjauan Kinetika dan Termodinamika Proses Adsorpsi Ion Logam Pb, Cd, dan Cu oleh Biomassa Alga Nannochloropsis sp yang Diimmobilisasi Polietilamina-Glutaraldehyd*. Laporan Penelitian. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Rahaman, M. N. 1995. *Ceramics Pressing and Sintering*. Departement of Ceramics Engineering University of Missouri-Rolla Rolla Missouri. Hal 214-219.

Romimohtarto, K. 2004. *Meroplankton Laut*. Penerbit Djambatan. Jakarta.

Saeed A. dan Iqbal M., 2003. Bioremoval of Cadmium from Aqueous Solution by Black Gram Husk (*Cicer arietinum*). *Water Research*. **37**, 3472–3480.

Shaw, D. J. 1983. *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*. Butter Whorths. London.

Sinaga, S. 2009. *Studi Pemanfaatan Silika Gel Tersalut Kitosan Untuk Menurunkan Kadar Logam Besi dan Seng Dalam Larutan Kopi*. (Tesis). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Medan. Medan.

Singh, S., B. N. Kate, and U. C. Banerjee. 2005. Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview. *Critical Reviews in Biotechnology*. **25**:73-95.

Sopyan, I, Winarto, D. A., dan Sukartini, 1997. *Pembuatan Bahan Keramik Melalui Teknologi Sol Gel*. Bidang Pengembangan teknologi BPPT. Hal 137-143.

Spiakov, B. Y. 2006. Solid Phase Extraction on Alkyl Bonded Silica Gels in Inorganics Analysis. *Analitical Chemical Acta*. **22**: 45-60.

Sriyanti, Azmiyawati, Choiril Dan Taslimah. 2004. *Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Merkaptopropil Trimetoksisilan*, JSKA vol VII no 2 tahun 2005. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro. Semarang.

Stum W, dan Morgan, J. J., 1996. *Aquatic Chemistry*. John Wiley and Sons, New York.

Suciani, S. 2007. *Kadar Timbal dalam Darah Polisi Lalu Lintas dan*

Hubungannya dengan Kadar Hemoglobin (Studi Pada Polisi Lalu Lintas yang Bertugas di Jalan Raya Kota Semarang). Diambil dari: http://eprints.undip.ac.id/15877/1/Sri_Suciani.pdf [Diakses 3 Maret 2015].

Sukardjo. 1985. *Kimia Koordinasi*. Bumi Aksara. Jakarta.

Supriyanto, Agung. 2014. *Kajian Adsorpsi Ion-Ion Logam Divalen Ca(II), Cu(II) dan Cd(II) oleh Biomassa Alga Merah (Porphyridium sp) (Skripsi).* Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Suryani, Dewa Putu. 2013. *Immobilisasi Biomassa Alga Tetraselmis sp dengan Pelapisan Silika-Magnetit Sebagai Adsorben Ion Ni(II) dan Zn(II) (Skripsi).* Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Susilawati. 2009. *Studi Biosorpsi Ion Logam Cd(II) Oleh Biomassa Algae Hijau Yang Diimobilisasi Pada Silika Gel. (Skripsi).* Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Depok.

Teja, A. S. and P. Y. Koh. 2008. Synthesis, Properties, And Applications Of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Progrees in Crystal Growth and Characterization of Materials*. **xx**: 1-24.

Terada, K., K. Matsumoto and H. Kimora. 1983. Sorption Of Copper (II) By Some Complexing Agents Loaded On Various Support. *Analytical Chemical Acta*. **153**:237-247.

Triani, L. 2006. *Desorpsi Ion Logam Tembaga (II) Dari Biomassa Chlorella sp Yang Terimobilisasi Dalam Silika Gel.* Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Tzvetkova, P., P. Vassileva and Nickolov. 2010. Modified Silica Gel with 5-Amino-1, 3, 4-Thiadiazole -2-Thiol for Heavy Metal Ions Removal. *Siz. Bulg. Science*. **113**: 45-51.

Underwood, E. J. and N. F. Shuttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. CABI Publishing. Third ed. London. England. pp. 185–212.

Vogel, 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semi Mikro, Bagian I, Edisi ke-5*. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.

Volesky and Diniz, V. 2005. Effect of Counterions on Lanthanum Biosorption by *Sargassum polycystum*. *Water Research*. **39**: 2229-2236.

- Vonshak, A. 1988. *Porphyridium. Microalgal Biotechnology*. Cambridge University Press. New York.
- Wankasi. 2005. *Desorption of Pb^{2+} and Cu^{2+} from Nipapalm (*Nypa Fruticans* Wurmb) Biomass*. Diakses tanggal 21 Desember 2015 Pukul 10.30 WIB. (<http://www.google.com./desorption>).
- Wicaksono, Rio. 2015. *Kajian Isoterm Adsorpsi Ion Ni(II) Dan Zn(II) Pada Biomassa Porphyridium Sp. Yang Dimodifikasi Dengan Silika-Magnetit*. (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Wijayanti, Rina. 2015. *Studi Adsorpsi Ion Cd(II), Cu(II), Dan Pb(II) Oleh Biomassa Spirulina sp Yang Diimmobilisasi Dengan Silika Magnetit*. (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Xu, Jing., H. Y., W. Fu, K. Du, Y. Sui, J. Chen, Y. Zeng, M. Li dan G. Zou. 2007. Preparation and magnetic properties of magnetite nanoparticles by sol-gel method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. **309**: 307–311.
- Yuliasari, L. 2003. *Studi Penentuan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Organ Tubuh Ayam Broiler Secara Spektrofotometri Serapan Atom*. (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Yuniarti, 1997. *Penyerapan Ion Logam Berat Dalam Larutan Oleh Sabut Kelapa Sawit*. Pair Bata, Jakarta.
- http://www.biosorption.mc_gill.co/publication/Bvspain.htm, Biosorption, diakses 12 Desember 2015.