II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biomassa Alga

Banyak mikroorganisme yang hidup di daerah perairan salah satu adalah alga. Mikroorganisme ini memiliki bentuk dan ukuran yang beranekaragam, ada yang mikroskopis, bersel satu, berbentuk benang/ pita atau berbentuk lembaran. Alga dikelompokkan atas beberapa kelas diantaranya: *Rhodophyceae* (alga merah), *Phaeophyceae* (alga coklat), *Chlorophyceae* (alga hijau), dan *Cyanophyceae* (alga biru). Menurut Pratiwi (2000), alga *Chaetoceros* sp merupakan salah satu jenis alga yang termasuk spesies alga coklat (*Phaeophyceae*). Warna alga coklat disebabkan adanya pigmen coklat (fukosantin), yang secara dominan menyelubungi warna hijau dari klorofil pada jaringan.

Adapun biomassa alga yang digunakan pada penelitian ini adalah biomassa alga *Chaetoceros* sp. *Chaetoceros* sp merupakan salah satu jenis alga yang termasuk spesies alga coklat (*Phaeophyceae*). Warna alga coklat disebabkan adanya pigmen coklat (fukosantin), yang secara dominan menyelubungi warna hijau dari klorofil pada jaringan. Selain fukosantin, alga coklat juga mengandung pigmen lain seperti klorofil a, klorofil c, violaxantin, β- karotein, dan diadinoxantin (Pratiwi, 2000).

Alga memiliki kelemahan seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena terdegradasi oleh mikroorganisme lain sehingga kemampuan alga dalam menyerap ion-ion logam sangat di batasi oleh kelemahan tersebut. Immobilisasi biomassa adalah salah satu cara untuk mengatasi kelemahan tersebut, immobilisasi biomassa dapat dilakukan dengan mengunakan silika gel (Harris and Ramelow, 1990).

B. 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 $SiO_2.xH_2O$ (Oscik, 1982).

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).

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).

C. 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 biomassanya. Immobilisasi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan (1) matrik polimer seperti polietilena, glikol, dan akrilat, (2) oksida seperti alumina, silika, dan (3) campuran oksida seperti kristal aluminasilikat, asam polihetero, dan karbon (Harris and Rammelow, 1990).

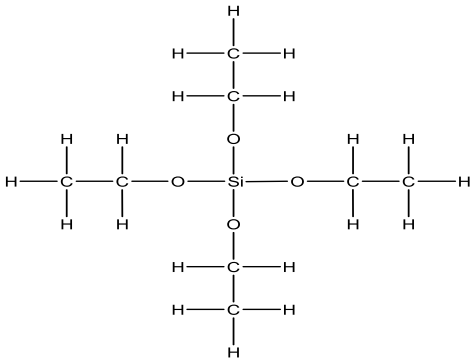
Untuk meningkatkan kestabilan biomassa alga sebagai adsorben, maka dilakukan immobilisasi dengan matriks pendukung seperti silika gel. Silika gel merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan dalam proses adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh mudahnya silika diproduksi dan sifat permukaan (struktur geometri pori dan sifat kimia pada permukaan) dan dapat dengan mudah dimodifikasi (Fahmiati dkk., 2004). Silika gel memiliki gugus silanol dan gugus siloksan tanpa pemodifikasian terlebih dahulu namun dapat juga mengadsorpsi ion logam (Sriyanti dkk., 2001). Namun, silika gel diketahui memiliki kapasitas dan selektivitas adsorpsi yang rendah apabila diinteraksikan dengan ion logam berat (Nuzula, 2004; Airoldi and Ararki, 2001).

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 antarpartikel, 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 berikatnya 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). Metode ini merupakan salah satu teknik yang dapat mengatasi adanya gumpalan padatan tersuspensi dalam limbah industri yang diolah (Jeon, 2011; Peng *et al*., 2010; Lin *et al*., 2011).

D. Proses Sol-gel

Sol-gel adalah suatu suspensi koloid dari partikel silika yang digelkan ke bentuk padatan. Sol adalah suspensi dari partikel koloid pada suatu cairan atau larutan molekul polimer (Rahaman, 1995). Didalam 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 kontinu, sehingga terbentuk gel (Sopyan dkk., 1997).



Gambar 1. Tetraetilortosilikat (TEOS).

Pada proses sol-gel, bahan dasar yang digunakan untuk membentuk sol dapat berupa logam alkoksida seperti TEOS. Rumus kimia dari TEOS adalah $Si(OC_2H_5)_4$. 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 membentu ikatan siloksan (Si-O-Si) dan mulailah terbentuk jaringan silika. Reaksi tersebut dapat dilihat dari persamaan (Prassas, 2002):

Hidrolisis

$$\equiv\text{Si-OR} + \text{H-OH} \longrightarrow \equiv\text{Si-OH} + \text{ROH}$$

Polikondensasi

$$\equiv\text{Si-OH} + \text{HO-Si}\equiv \longrightarrow \equiv\text{Si-O-Si}\equiv + H_2O$$

$$\equiv\text{Si-OH} + \text{RO-Si}\equiv \longrightarrow \equiv\text{Si-O-Si}\equiv + \text{ROH}$$

Jaringan silika amorf 3 dimensi (3D) dapat terbentuk pada temperatur ruang. Viskositas larutan secara kontinu meningkat dimana pada saat itu larutan akan menjadi gel. Parameter yang berpengaruh pada reaksi ini adalah pH, kandungan air, konsentrasi, temperatur dan pengeringan (Prassas, 2002). 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) (Airoldi and Ararki, 2001). Hibrida silika yang dihasilkan digunakan untuk adsorpsi logam divalen (Terrada *et al*., 1983).

Imobilisasi etilendiamin pada permukaan silika gel dari prekursor TEOS melalui proses sol-gel dan digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi ion Cu(II), Hg(II)

dan Co(II) (Cestari *et al*., 2000). 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., 2001).

E. Magnetit (Fe_3O_4)

Magnetit mempunyai rumus kimia Fe_3O_4 dan mempunyai struktur spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, celah-celahnya ditempati oleh ion Fe^{2+} dan Fe^{3+}. 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. Beberapa sifat nanopartikel magnetit ini bergantung pada ukurannya. Magnetit ini akan bersifat superparamagnetitik ketika ukuran suatu partikel magnetitisnya 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 (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 atau pun 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 theraphy*, maupun sebagai *contrast agent* pada *magnetic Resonance Imaging* (Cabrera *et al*., 2008).

F. Adsorpsi dan Desorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses dimana suatu komponen bergerak dari suatu fasa menuju permukaan yang lain sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan. Zat yang diserap disebut adsorbat sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Pada umumnya adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi kimia (kemisorpsi) dan adsorpsi fisika (fisisorpsi) (Keenan and Kleinfelter, 1984).

1. Adsorpsi ion logam

Adsorpsi menyangkut akumulasi atau pemusatan substansi adsorbat dan dapat terjadi pada antar muka 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 (Oscik, 1982).

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 makan kompleks yang terbentuk semakin stabil, (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. 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).

c. 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 gel akan bermuatan netto negatif (kondisi larutan basa) sedangkan pada pH rendah (kondisi larutan asam) akan bermuatan netto 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 (Stum and Morgan, 1996).

2. Parameter adsorpsi

a. Selektivitas adsorpsi

Selektivitas adsorpsi merupakan kemampuan suatu adsorben untuk menyerap adsorbatnya. Selektifitas adsorpsi pada adsorben HAS dipelajari dengan melakukan kompetisi adsorpsi ion Cd(II) (109 pm) terhadap pasangannya dengan ion Ni(II) (83 pm), Zn(II) (88 pm), dan Cu(II) (87 pm) dalam larutan. Ion-ion logam tersebut dipilih berdasarkan perbedaan jari-jari ion dan perbedaan keasaman ion-ion logamnya (Buhani *et al*., 2010).

Untuk menentukan jumlah logam teradsorpsi, rasio distribusi dan koefisien selektifitas pada proses adsorpsi ion logam terhadap adsorben alga *Chaetoceros* sp, (HAS) dan HAS-magnetit dapat digunakan persamaan berikut :

$$Q = (C_o - C_e)V/W \quad (1)$$

$$\%A = (C_o - C_e)/C_o \times 100 \quad (2)$$

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).

Persentase ikatan ionik ini dapat dihitung berdasarkan perbedaan keelektronegatifan melalui persamaan Pauling (Douglas dkk, 1994) berikut ini:

$$\textbf{\% Ikatan ionik A-B} = 100.\ [1 - e^{-(1/4)(\chi_A - \chi_B)^2}] \quad (3)$$

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 χNi = 1,91, χCu = 1,9, χZn = 1,65, χCd = 1,69, dan χPb = 2,33, χO= 3,44, χN = 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

Desorpsi adalah proses penyingkiran atom, molekul, atau ion yang terjerat pada permukaan (Oxford, 1994). Desorpsi dapat juga berarti suatu fenomena dimana suatu zat lepas dari permukaan. 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:

$$\% \text{ Desorpsi} = \frac{\text{Jumlah ion logam terdesorpsi}}{\text{Jumlah ion logam teradsorpsi}} \text{ x } 100\% \qquad (4)$$

Maka diperoleh % desorpsi dari ion logam Pb(II) dan Cu(II) masing-masing adalah: dalam larutan asam 75,3 dan 63,7%, dalam larutan basa 18,9 dan 14,06%, serta 3,35 dan 2,44% pada larutan netral, waktu interaksi dilakukan selama 140 menit.

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, H_2SO_4, asam asetat, HNO_3 dengan konsentrasi yang bervariasi tergantung pada jenis alga dan logam yang diserap (Volesky and Diniz, 2005).

G. 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 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 :

a. 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).

b. 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, franklinit, 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).

c. Logam Cadmium (Cd)

Cadmium (latin cadmia) adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cd dan nomor atom 48. Cadmium merupakan bahan alami yang terdapat dalam kerak bumi. Cadmium murni berupa logam berwarna putih

perak dan lunak, namun bentuk ini tak lazim ditemukan di lingkungan. Umumnya cadmium terdapat dalam kombinasi dengan elemen lain seperti Oksigen (Cadmium Oxide), Clorine (Cadmium Chloride) atau belerang (Cadmium Sulfide) (Cotton dan Wilkinson, 1998).

d. Logam Tembaga (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga dicampurkan dengan timah untuk membuat perunggu (Cotton dan Wilkinson, 1989).

e. Logam Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan suatu logam berat yang lunak berwarna kelabu kebiruan dengan titik leleh 327 ºC dan titik didih 1,620 ºC. Pada suhu 550–600 ºC timbal menguap dan bereaksi dengan oksigen dalam udara membentuk timbal oksida. Walaupun bersifat lentur, timbal sangat rapuh dan mengkerut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Timbal dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat dan asam sulfat pekat. Bentuk oksidasi yang paling umum adalah Pb(II) dan senyawa organometalik yang terpenting adalah timbal tetra etil (TEL: *tetra ethyl lead*), timbal tetra metil (TML : *tetra methyl lead*) dan timbal *stearat* merupakan logam yang tahan terhadap korosi atau karat, sehingga sering digunakan sebagai bahan *coating* (Suciani, 2007).

H. 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 di tingkat 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. Analisis morfologi permukaan dengan SEM

Scanning Electron Microscope (*SEM*) merupakan mikroskop elektron digunakan sebagai alat pendeteksi objek pada skala yang amat kecil.

Prinsip kerja SEM, dengan cara mengalirkan arus pada kawat filamen tersebut dan perlakuan pemanasan, sehingga dihasilkan elektron. Elektron tersebut dikumpulkan dengan tegangan tinggi dan berkas elektron difokuskan dengan sederetan lensa elektromagnetik. Ketika berkas elektron mengenai target, informasi dikumpulkan melalui tabung sinar katoda yang mengatur intensitasnya. Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaaan target, elektron kehilangan energi, karena terjadi ionisasi atom dari

cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari target. Elektron ini kemudian dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Wagiyo dan Handayani, 1997).