

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Biomasa Alga

Alga merupakan tanaman yang hidup di perairan. Tanaman ini memiliki bentuk dan ukuran yang beraneka ragam, ada yang mikroskopis, bersel satu, berbentuk benang/pita dan bersel banyak berbentuk lembaran, berkoloni, dan ada juga yang multi sel (Suryani, 2013). Berdasarkan pigmen (zat warna) yang terkandung dalam alga, alga dikelompokkan atas empat kelas, yakni : *Rhodophyceae* (alga merah), *Phaeopyceae* (alga coklat), *Chlorophyceae* (alga hijau), dan *Cyanophyceae* (alga biru) (Harris and Rammelow, 1990).

Salah satu alga dari kelas *Rhodophyceae* (alga merah) adalah *Porphyridium* sp. *Porphyridium* sp adalah salah satu jenis alga merah dari filum Rhodophyta dan ordo Porphyridiales. Klasifikasi *Porphyridium* (Vonshak, 1988) adalah sebagai berikut :

Divisi : Rhodophyta  
Sub Kelas : Bangiophycidae  
Ordo : Porphyridiales  
Famili : Porphyridiaceae  
Genus : *Porphyridium*

*Porphyridium* sp. memiliki diameter sel sekitar 4-9  $\mu\text{m}$ . Dan pada setiap selnya tak memiliki dinding sel. *Porphyridium* sp. dapat hidup diberbagai habitat seperti air tawar, air laut maupun permukaan tanah yang lembab. Produk komersial dari *Porphyridium* diantaranya adalah asam arakidonat, polisakarida, dan fikoeritrin. Biomassa kering sel *Porphyridium cruentum* mengandung 2 asam arakidonat, 35 polisakarida, dan 8% fikoeritrin (Vonshak, 1988).

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. Tidak perlu nutrisi tambahan.

Alga dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator logam berat karena dalam proses pertumbuhannya, alga membutuhkan sebagai jenis logam sebagai nutrisi alami, sedangkan ketersediaan logam di lingkungan sangat bervariasi. Suatu lingkungan yang memiliki tingkat kandungan logam berat yang melebihi jumlah yang diperlukan, dapat mengakibatkan pertumbuhan alga terhambat, sehingga dalam keadaan ini eksistensi logam dalam lingkungan adalah polutan bagi alga.

Menurut Harris *and* Ramelow (1990), kemampuan alga dalam menyerap ion-ion logam sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kelemahan tersebut berbagai upaya dilakukan, diantaranya dengan mengimmobilisasi biomasnya. Immobilisasi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan:

1. matrik polimer seperti polietilena glikol, akrilat;
2. oksida seperti alumina, silika;
3. campuran oksida seperti kristal aluminasilikat, asam polihetero;
4. karbon.

## **B. Silika Gel**

Silika gel adalah suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat ( $\text{NaSiO}_2$ ). Sol mirip agar – agar tersebut dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering, dan penopang katalis (Punkels, 2008). Dalam proses adsorpsi, silika gel merupakan salah satu yang paling sering dijadikan sebagai adsorben. Hal ini dikarenakan oleh mudahnya silika diproduksi dan sifat permukaan serta dapat dengan mudah dimodifikasi (Fahmiati dkk., 2004).

Silika gel dalam penggunaannya memiliki beberapa kelemahan diantaranya pada rendahnya efektivitas dan selektivitas permukaan dalam berinteraksi dengan ion logam berat sehingga silika gel tak mampu berfungsi sebagai adsorben yang efektif untuk ion logam berat. Hal ini terjadi karena situs aktif yang ada hanya

berupa gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Namun kekurangan ini dapat diatasi dengan memodifikasi permukaan dengan menggunakan situs aktif yang sesuai untuk mengadsorpsi ion logam berat yang dikehendaki. Oleh karena itu, perlu dilakukannya modifikasi pada permukaan selikia agar silika dapat secara efektif dapat diajdikan sebagai adsorben. Modifikasi silika dilakukan dengan mendesain molekul menggunakan agen silan sebagai prekursor untuk membentuk permukaan baru pada silika gel yang mengandung molekul organik (Filha *et al.*, 2006). Agen pemodifikasi dapat berinteraksi dengan silika gel melalui interaksi fisik dan kimia. Permukaan silika gel dapat dimodifikasi secara fisika dengan tujuan untuk mengubah perbandingan konsentrasi gugus silanol dan siloksan atau secara kimia yang bertujuan untuk mengubah karakterisasi kimia permukaan silika gel.

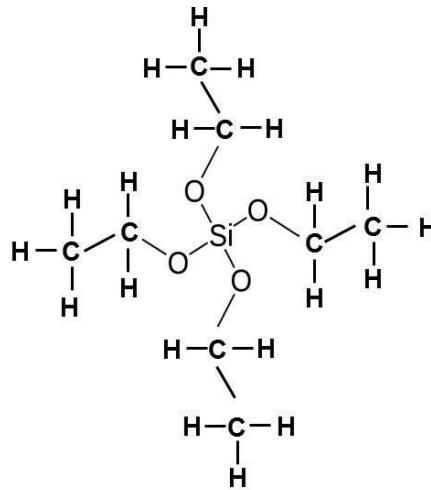
### **C. Proses Sol – Gel**

Proses sol – gel telah banyak dikembangkan terutama untuk pembuatan hibrida, kombinasi oksida anorganik (terutama silika) dengan alkoksisilan. Proses tersebut didasarkan pada prekursor molekular yang dapat mengalami hidrolisis, kebanyakan merupakan alkoksida logam atau semi logam. Proses sol – gel ini merupakan suatu suspensi koloid dari partikel silika yang digelkan ke bentuk padatan. Menurut Rahaman (1995) suspensi dari partikel koloid pada suatu cairan atau molekul polimer disebut sol. Proses sol – gel dapat dikatakan sebagai pembentukan suatu jaringan oksida melalui reaksi polikondensasi dari molekul prekursor dalam medium cair atau merupakan proses untuk membentuk material melalui suatu sol, *gelation* dari sol dan akhirnya (Schubert *and* Husing, 2000).

Tahapan dari proses sol – gel yakni hidrolisis, kondensasi, *Gelation* (transisi sol – gel), *Aging* (pertumbuhan gel), *Drying* (pengeringan). Hidrolisis prekursor dilarutkan dalam alkohol dan terhidrolisis dengan ditambahkan air pada kondisi asam, netral atau basa dan menghasilkan sol koloid. Hidrolisis ini menggantikan ligan (-OR) dengan gugus hidroksil (-OH). Faktor yang berpengaruh terhadap proses hidrolisis adalah perbandingan air/prekursor dan jenis katalis hidrolisis yang digunakan. Pada kondensasi terjadi proses transisi dari sol menjadi gel. Melalui polimerisasi kondensasi akan terbentuk dimer, trimer, dan seterusnya sehingga membentuk bola-bola polimer yang dapat disebut sebagai partikel silika primer. Gugus silanol permukaan partikel bola polimer yang berdekatan mengalami kondensasi disertai pelepasan air sampai terbentuk partikel sekunder dengan diameter sekitar 4,5 nm. Pada tahap ini larutan sudah mulai menjadi gel ditandai dengan bertambahnya viskositas. Gel yang dihasilkan masih sangat lunak dan tidak kaku yang disebut *alkogel* (Farook and Ravendran, 2000). Tahap akhir pembentukan silika gel adalah *xerogel* yang merupakan fasa silika yang telah mengalami pencucian dan pemanasan. Pemanasan pada temperatur 110 °C mengakibatkan dehidrasi pada *hidrogel* dan terbentuknya silika gel dengan struktur  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  (Enymia *et al.*, 1998). Produk akhir yang dihasilkan adalah bahan amorf dan keras yang disebut silika gel kering (Kalapathy *et al.*, 2000).

Prekursor yang biasa digunakan dalam proses sol – gel adalah senyawa silikon alkoksida seperti tetrametilortosilikat (TMOS) atau tetraetilortosilikat (TEOS) (Jamarun, 2000). Prekursor akan terhidrolisis dengan penambahan sejumlah air atau pelarut organik seperti metanol atau etanol, membentuk gugus silanol Si-OH

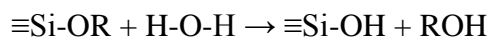
sebagai intermediet. Gugus silanol ini kemudian terkondensasi membentuk gugus siloksan Si-O-Si. Reaksi hidrolisis dan kondensasi ini terus berlanjut hingga viskositas larutan meningkat dan membentuk gel (Fernandez *et al.*, 2014).



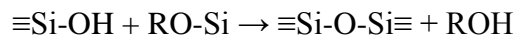
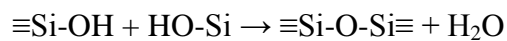
**Gambar 1.** Struktur TEOS (tetraetilortosilikat).

Reaksi pada proses sol-gel dapat dilihat pada persamaan berikut:

- Reaksi Hidrolisis



- Reaksi Polikondensasi



#### **D. Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )**

Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) atau oksida besi hitam adalah oksida besi yang paling kuat sifat magnetisnya (Teja *and* Koh, 2008). Pemanfaatan magnetit yang berukuran nano banyak dimanfaatkan pada proses-proses industri (misalnya sebagai tinta cetak) dan pada penanganan masalah-masalah lingkungan (misalnya sebagai *magnetic carrier precipitation process* untuk menghilangkan ion logam pada air limbah) (Cabrera *et al.*, 2008). Magnetit merupakan ferimagnetik, satu dari beberapa besi oksida dan termasuk spinel, para peneliti dapat mensintesis partikel nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan berbagai metode, misalnya metode sol-gel, hidrolisis terkontrol, dan kopresipitasi dalam air. Metode kopresipitasi merupakan metode yang paling sederhana karena prosedurnya lebih mudah dan dapat dilakukan pada suhu reaksi yang rendah ( $< 100^\circ\text{C}$ ) (Xu *et al.*, 2007).

Penemuan baru menunjukkan bahwa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dapat dimanfaatkan sebagai material pada sistem pangangkutan obat-obatan atau *Drug Delivery System* (DDS), *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), dan terapi kanker. Agar dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang tersebut, sangatlah penting untuk mempertimbangkan ukuran partikel, sifat magnetik, dan sifat permukaan partikelnya (Cabrera *et al.*, 2008).

#### **E. Logam Berat**

Istilah logam berat merujuk pada unsur logam yang memiliki massa jenis atau densitas yang tinggi dan biasanya bersifat sangat toksik meski pada konsentrasi sangat rendah. Namun karakteristik yang sesungguhnya membedakan logam berat

dengan kelompok unsur lainnya adalah sifat kimianya, termasuk aktivitasnya di dalam tubuh manusia. Meskipun beberapa logam berat dibutuhkan oleh tubuh manusia sebagai mikronutrien, pada kadar lebih tinggi dapat menyebabkan efek biotoksik pada manusia. Logam berat meliputi tembaga (Cu), timbal (Pb), kadmium (Cd), seng (Zn), raksa (Hg), arsenik (As), perak (Ag), kromium (Cr), besi (Fe), dan kelompok logam platina (Pt) (Duruibe *et al.*, 2007).

Logam berat merupakan penyusun utama pada kerak bumi yang tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan (Duruibe *et al.*, 2007). Keberadaan logam berat di lingkungan perairan tidak lepas dari berbagai aktivitas manusia. Pertambangan, industri, produksi energi, serta alat komunikasi dan transportasi merupakan aktivitas manusia yang berpotensi mencemari lingkungan air dengan logam berat. Menurut Sasongko (2002), logam berat memiliki sifat-sifat di antaranya:

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai atau berubah.
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, yang nantinya dapat membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsinya.
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air.

### **1. Nikel (Ni)**

Nikel merupakan logam putih yang keras dengan berat molekul 58,71. nikel bersifat liat, dapat ditempa dan sangat kukuh. Nikel melebur pada 1455 °C dan bersifat magnetis (Cotton *and* Wilkinson, 1989). Garam - garam nikel(II) yang



stabil diturunkan dari nikel(II) oksida, NiO, yang merupakan zat berwarna hijau. Garam-garam nikel yang terlarut berwarna hijau disebabkan oleh warna dari kompleks heksakuonikelat(II)  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ . Nikel(III) oksida,  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , yang hitam kecoklatan juga ada, tetapi zat ini melarut dalam asam dengan membentuk ion nikel (II) (Hakim dan Supriyatna, 2009).

Pemanfaatan logam Ni banyak digunakan dalam bidang industri, diantaranya industri pembuatan baterai listrik, penyepuhan listrik, kontak listrik dan alat sejenis serta katalis. Logam Ni juga dilepaskan ketika terjadi gasifikasi batu bara. Peleburan dan penggunaan logam Ni dalam industri cenderung meningkatkan kadarnya dalam lingkungan. Ni dapat bersifat sebagai karsinogen. Kanker hidung merupakan jenis neoplasma utama, akan tetapi Ni juga menginduksi kanker paru-paru, laring, lambung, dan ginjal. Ni juga dapat menimbulkan hipersensitivitas terhadap kulit. Reaksi ini biasanya muncul setelah kontak dengan barang logam yang mengandung Ni, misalnya uang logam dan perhiasan (Lu, 1995). Bahaya nikel bagi manusia secara langsung atau tidak langsung adalah dapat merusak DNA dan meningkatkan resiko kanker, menyebabkan iritasi serta toksisitas (Wang and Chen, 2009).

## **2. Seng (Zn)**

Seng merupakan salah satu unsur kimia dengan lambang Zn, dengan nomor atom 30 dan massa relatif 65,39. Seng tidak dapat diperoleh bebas di alam, melainkan dalam bentuk terikat. Mineral yang mengandung seng di alam bebas diantaranya adalah 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 *and* Wilkinson, 1989).

Pada manusia, seng sangat berperan penting sebagai katalis bagi enzim untuk reaksi-reaksi metabolik yang vital. Karena fasilitasnya untuk sintesis DNA dan RNA dan perannya dalam reaksi-reaksi metabolisme, seng sangat dibutuhkan bagi pertumbuhan anak (Sony, 2009).

Mengingat seberapa pentingnya seng dibutuhkan oleh tubuh manusia, kekurangan (defisiensi) seng dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Beberapa defisiensi seng yang ringan antara lain, oligospermia, dermatitis, pertumbuhan terhambat, penyembuhan luka terlambat, gangguan adaptasi gelap serta mudahnya terjadi perubahan emosi. Sementara itu, defisiensi seng berat diantaranya, infeksi, diare, alat-alat kelamin mengecil, perubahan neurologis bahkan menyebabkan kematian (Hidayat, 1999).

## **F. Karakterisasi Material**

### **1. Spektrofotometer Inframerah (IR)**

Spektrofotometer inframerah (IR) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa komposisi kimia dari senyawa-senyawa organik, polimer, *coating* atau pelapisan, material semikonduktor, sampel biologi, senyawa-senyawa anorganik, dan mineral. Spektrofotometer IR mampu menganalisa suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material. Spektrofotometer IR tidak hanya mempunyai kemampuan untuk analisa kualitatif, namun juga bisa untuk analisa

kuantitatif. Aplikasi spektrofotometer *IR* sangat luas baik untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif (Fernandez, 2011).

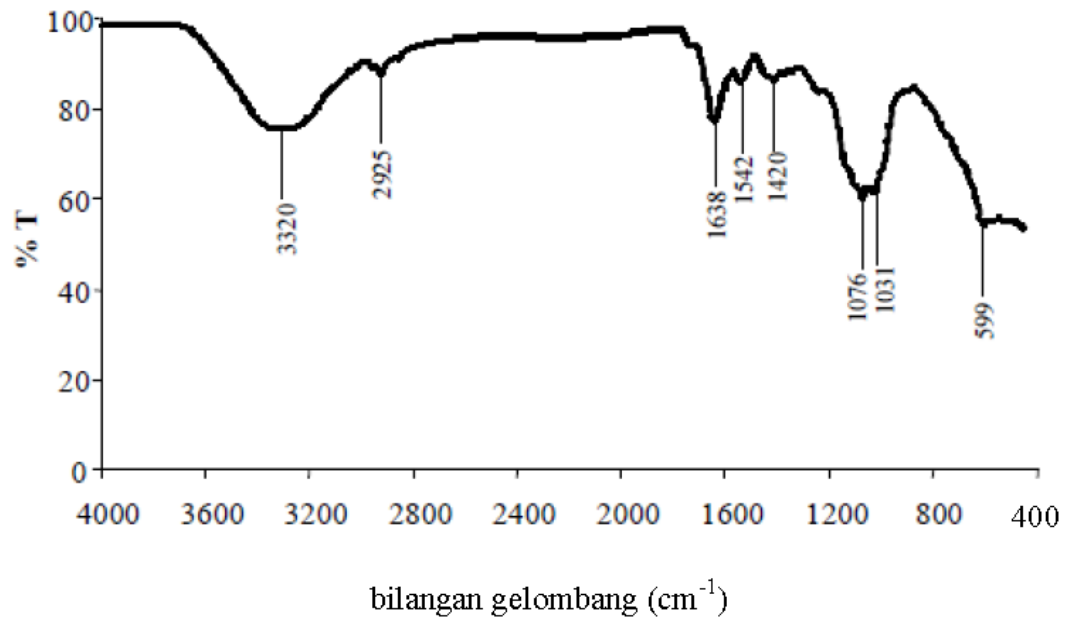
Pancaran infra merah pada umumnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik yang terletak di antara daerah tampak dan daerah gelombang mikro. Sebagian besar kegunaannya terbatas di daerah antara  $4000\text{ cm}^{-1}$  dan  $666\text{ cm}^{-1}$  ( $2,5\text{-}15,0\text{ }\mu\text{m}$ ) (Silverstain *and* Bassler, 1967).

Konsep radiasi inframerah adalah mendispersikan radiasi matahari dengan prisma. Ternyata pada daerah sesudah sinar merah menunjukkan adanya kenaikan temperatur tertinggi yang berarti pada daerah panjang gelombang radiasi tersebut banyak kalori.

1. Absorpsi terhadap radiasi inframerah dapat menyebabkan eksitasi molekul ke tingkat energi vibrasi yang lebih tinggi dan besarnya absorpsi adalah terkuantitasi.
2. Vibrasi yang normal mempunyai frekuensi sama dengan frekuensi radiasi elektromagnetik yang diserap.
3. Proses absorpsi (spektra *IR*) hanya dapat terjadi apabila terdapat perubahan baik nilai maupun arah dari momen dua kutub ikatan.

Spektrum serapan *IR* merupakan 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 (Khopkar, 2001).

Berikut adalah serapan infra merah dari alga *Porphyridium cruentum* menurut Karaca (2008) :



**Gambar 2.** Serapan IR *Porphyridium cruentum*.

Radiasi IR tidak memiliki cukup energi untuk menyebabkan transisi elektronik. Bila radiasi IR dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul akan menyerap energi sehingga terjadi vibrasi. Panjang gelombang serapan oleh suatu ikatan bergantung pada jenis getaran ikatan antar atom. Oleh karena itu, tipe ikatan yang berlainan akan menyerap radiasi IR pada panjang gelombang yang berbeda (Fessenden dan Fessenden, 1986). Vibrasi yang terjadi meliputi vibrasi ulur dan tekuk dan dikenal beberapa istilah, yaitu *rocking*, *twisting*, *scissoring*, dan *waging* (Hollas, 2004).

**Tabel 1.** Serapan infra merah beberapa gugus fungsi senyawa organik

Daerah serapan ( $\text{cm}^{-1}$ )	Gugus Fungsi	Nama Gugus Fungsi
2850-2960	C-H	alkana
1350-1470		
3020-3080	C-H	alkena
675-870		
3000-3100	C-H	aromatik
675-870		
3300	C-H	alkuna
1640-1680	C=C	alkena
1500-1600	C=C	aromatik (cincin)
1080-1300	C-O	Alkohol
		Eter
		asam karboksilat
		ester
1690-1760	C=O	Aldehida
		Keton
		asam karboksilat
		ester
3610-3640	O-H	alkohol
		fenol(monomer)
2000-3600	O-H	Alkohol
		fenol (ikatan Hidrogen)
3000-3600	O-H	asam karboksilat
3310-3500	N-H	amina
1180-1360	C-N	amina
1515-1560	-NO <sub>2</sub>	nitro
1345-1385		

(Fessenden dan Fessenden, 1986).

## 2. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

SSA 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).

Prinsip SSA berdasarkan pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu tergantung pada sifat unsurnya.

Transisi elektronik suatu unsur bersifat spesifik. Dengan absorpsi energi, berarti memperoleh energi yang lebih banyak, suatu atom dinaikkan tingkat energinya dari keadaan dasar ke tingkat eksitasi. Prinsip kerja SSA ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi yang rendah. Teknik ini mempunyai beberapa kelebihan 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).

### **3. Difraktometer Sinar – X (XRD)**

Difraksi sinar-X merupakan suatu teknik yang digunakan menentukan sistem kristal (kubus, tetragonal, ortorombik, rombohedral, heksagonal, monoklin, triklin), kualitas kristal (kristal tunggal, polikristalin, dan amorf), simetri kristal, menentukan cacat kristal, mencari parameter kristal (parameter kisi, jarak antar atom, jumlah atom per unit sel), identifikasi campuran dan analisis kimia (Zakaria, 2003). Prinsip kerjanya yaitu ketika sinar-X yang monokromatik jatuh pada sebuah kristal maka sinar-X tersebut akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena ada keteraturan letak atom-atom dalam kristal maka pada arah tertentu saja gelombang hambur akan berinterferensi konstruktif dan pada arah lainnya akan berinterferensi destruktif (Cullity *and* Stock, 2001). Atom-atom dalam kristal dapat dipandang sebagai unsur yang membentuk keluarga bidang datar yang mempunyai jarak karakteristik antara bidang (West, 1989).

Syarat yang diperlukan agar berkas yang sejajar ketika dihamburkan atom-atom kristal akan berinterferensi konstruktif adalah memiliki beda jarak lintasan tepat

$n\lambda$ , dimana selisih jarak antara 2 berkas sejajar adalah  $2d \sin \theta$ , dan memenuhi persamaan Bragg, yakni :

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

Dimana  $n$  adalah bilangan bulat dan merupakan tingkat difraksi sinar-X,  $\lambda$  adalah panjang gelombang yang dihasilkan oleh katoda yang digunakan ( $\text{\AA}$ ), sedangkan  $d$  merupakan jarak antara batas lapisan permukaan ( $\text{\AA}$ ), dan  $\theta$  merupakan sudut difraksi sinar-X terhadap permukaan kristal ( $^\circ$ ) (Cullity, 1978).

### G. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan fenomena yang terjadi pada permukaan. Adsorpsi secara umum didefinisikan sebagai akumulasi sejumlah molekul, ion atau atom yang terjadi pada batas antara dua fasa (Alberty *and* Daniel, 1987). Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat.

Terdapat dua jenis gaya tarik-menarik pada padatan yakni, gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Oscik, 1982). Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya van der Waals, sedangkan adsorpsi kimia terjadi jika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia. Dalam proses adsorpsi melibatkan berbagai macam gaya yakni gaya *van der waals*, gaya elektrostatik, ikatan hidrogen serta ikatan kovalen (Martell *and* Hancock, 1996).

## H. Kapasitas Adsorpsi

Untuk menentukan banyaknya jumlah ion logam yang teradsorpsi dapat menggunakan persamaan kesetimbangan massa, sebagai berikut:

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

$$D = Q/C_e \quad (2)$$

$$\%A = (C_o - C_e)/C_o \times 100 \quad (3)$$

Dimana Q menyatakan jumlah ion logam yang teradsorpsi ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $C_o$  dan  $C_e$  menyatakan konsentrasi awal dan kesetimbangan dari ion logam ( $\text{mmol L}^{-1}$ ), W adalah massa adsorben (g), V adalah Volume larutan ion logam (L), A (%) presentase teradsorpsi, D adalah rasio distribusi ( $\text{mL g}^{-1}$ ) (Buhani *et al.*, 2009).

### 1. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Model isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa bagian yang terpenting dalam proses adsorpsi yaitu situs yang dimiliki oleh adsorben yang terletak pada permukaan, akan tetapi jumlah situs-situs ini akan berkurang jika permukaan yang tertutup semakin bertambah (Husin *and* Rosnelly, 2005). Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir tersebut ditulis dalam bentuk persamaan linier yaitu sebagai berikut:

$$\frac{C}{n} = \frac{1}{n_m K} + \frac{C}{n_m} \quad (6)$$

Dengan C adalah konsentrasi kesetimbangan ( $\text{mol L}^{-1}$ ), n adalah jumlah logam yang teradsorpsi per gram adsorben pada konsentrasi C ( $\text{mol g}^{-1}$ ),  $n_m$  adalah



jumlah ion logam yang teradsorpsi saat keadaan jenuh (kapasitas adsorpsi) ( $\text{mol g}^{-1}$ ) dan  $K$  adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi ( $\text{L mol}^{-1}$ ). Dari kurva linier hubungan antara  $C/n$  versus  $C$  maka dapat ditentukan nilai  $n_m$  dari kemiringan (slop) dan  $K$  dari intersep kurva (Buhani *and* Suharso, 2009).

## 2. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Model isoterm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isoterm Freundlich menunjukkan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben adalah *multilayer* (Buhani *and* Suharso, 2009).

Adapun bentuk persamaan linier Freundlich adalah sebagai berikut:

$$\log q_e = \log k_f + 1/n \log C_e \quad (7)$$

Dengan  $q_e$  adalah jumlah ion logam yang teradsorpsi per gram adsorben ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $C_e$  adalah konsentrasi setimbang adsorbat dalam fase larutan ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $k_f$  adalah faktor kapasitas Freundlich ( $\text{mol L}^{-1}$ ) dan  $1/n$  adalah harga *slope* (Rousseau, 1987).