

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biomassa Alga

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 mikrobial, 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. 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). *Spirulina* sp merupakan salah satu jenis alga yang termasuk spesies alga hijau. Bentuknya berupa filamen (spiral

beraturan) yang merupakan rantai, berwarna hijau kebiruan. Filamen mikroalga ini merupakan rangkaian sel yang disebut *trichome*. Umumnya bentuk sel *Spirulina* sp dapat terdiri dari salah satu bentuk berikut yaitu diskus, isodiametris, atau silindris (Herianti and Pratiwi, 1987). *Spirulina* sp memiliki kandungan protein sebesar 46 – 43, karbohidrat 8 – 14, lemak 4 – 9, dan asam nukleat 2 – 5% (Becker, 1994).

Menurut Herianti and Pratiwi (1987) mengklasifikasikan *Spirulina* sp sebagai berikut:

Divisi : Cyanophyta
Ordo : Oscillatoriales
Sub Ordo : Oscillatorineae
Famili : Oscillatoriceae
Genus : *Spirulina*
Spesies : *Spirulina* sp

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.

Alga dapat dijadikan alternatif adsorben yang cukup potensial dalam rangka meminimalisasi pencemaran air yang disebabkan oleh logam berat. Selain itu, berkaitan dengan adsorpsi, alga memiliki dua karakteristik yang penting, yaitu secara struktural, alga memiliki sejumlah situs aktif pada dinding selnya (polisakarida dan protein, beberapa diantaranya mengandung gugus karboksil, sulfat, amino) yang dapat menjadi *binding sites* ion-ion logam. Selain itu, pada permukaan alga terdapat pori-pori yang memberikan peluang untuk terjadinya proses adsorpsi secara fisik (Susilawati, 2009). 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. Adapun syarat utama suatu alga sebagai bioindikator adalah harus memiliki daya tahan tinggi terhadap toksisitas akut maupun toksisitas kronis (Harris and Ramelow, 1990).

B. Logam

Logam berasal dari bumi yang biasa berupa bahan organik dan bahan anorganik. Diantara sekian banyak logam, ada yang keberadaannya di dalam tubuh mahluk hidup baik pada tanaman, hewan atau ternak dan manusia merugikan bahkan beracun. Logam yang dimaksud umumnya digolongkan pada logam berat. Logam berat merupakan pencemar lingkungan yang utama dan sebagian besar bersifat toksik meskipun dalam konsentrasi yang rendah. Pencemaran logam berat

berlangsung sangat cepat sejak dimulainya revolusi industri (Nriagu, 1979).

Menurut Darmono (1995), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Sumber utama pencemaran oleh logam berat disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil, pertambangan dan peleburan bijih logam, limbah domestik, pupuk, pestisida dan lain-lain.

Umumnya, logam berat yang menyebabkan pencemaran adalah Cd, Cr, Cu, Hg, Pb dan Zn (Kabata-Pendias and Pendias, 1989).

Logam berat digolongkan menjadi dua jenis yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial adalah logam yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, sedangkan logam berat non esensial yaitu logam yang keberadaannya dalam tubuh belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr. Logam ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagaimana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, selain itu logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen atau karsinogen bagi manusia (Putra, 2006).

Bila ditinjau dari definisi asam-basa menurut Lewis (Keenan and Kleinfelter, 1984), 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 and Kleinfelter, 1984).

Pearson (1963) mengklasifikasikan asam-basa Lewis menurut sifat keras dan lemahnya. Menurut Pearson, situs aktif pada permukaan padatan dapat dianggap sebagai ligan yang dapat mengikat logam secara selektif. Logam dan ligan dikelompokkan menurut sifat keras dan lemahnya berdasarkan pada polarisabilitas unsur. Pearson (1963) mengemukakan suatu prinsip yang disebut *Hard and Soft Acid Base* (HSAB). Ligan-ligan dengan atom yang sangat elektronegatif dan berukuran kecil merupakan basa keras, sedangkan ligan-ligan dengan atom yang elektron terluarnya mudah terpolarisasi akibat pengaruh ion dari luar merupakan basa lemah. Sedangkan ion-ion logam yang berukuran kecil namun bermuatan positif besar, elektron terluarnya tidak mudah dipengaruhi oleh ion dari luar, ini dikelompokkan ke dalam asam keras, sedangkan ion-ion logam yang berukuran besar dan bermuatan kecil atau nol, elektron terluarnya mudah dipengaruhi oleh ion lain, dikelompokkan ke dalam asam lemah.

Menurut prinsip HSAB, asam keras akan berinteraksi dengan basa keras untuk membentuk kompleks, begitu juga asam lemah dengan basa lemah. Interaksi asam keras dengan basa keras merupakan interaksi ionik, sedangkan interaksi asam lemah dengan basa lemah, interaksinya lebih bersifat kovalen.

Selain logam berat, di perairan juga terkandung logam alkali tanah. Contoh dari logam alkali tanah yaitu Be, Mg, dan Ca. Apabila logam alkali tanah ini masuk ke

dalam tubuh dalam jumlah yang berlebihan maka akan menimbulkan dampak yang buruk bagi tubuh.

Dalam penelitian ini digunakan tiga macam logam diantaranya yaitu:

1. Kalsium (Ca)

Kalsium adalah logam putih perak yang agak lunak, melebur pada 845°C.

Kalsium menguraikan air dengan membentuk kalsium hidroksida dan hidrogen.

Kalsium membentuk kation kalsium (II), Ca^{2+} dan dalam larutan-larutan air garam-garamnya biasa berupa bubuk putih dan membentuk larutan yang tidak berwarna kecuali bila anionnya berwarna (Svehla, 1990). Unsur kalsium sering berbentuk ion Ca^{2+} termasuk dalam kelompok IIA dalam sistem berkala dan logam kelas A (Darmono, 1995). Di dalam penelitian ini digunakan senyawaan kalsium klorida (CaCl_2) dimana nilai kelarutannya dalam air yaitu 81,1 g/100 mL. Kalsium dapat dijumpai dalam silika-silika kompleks, batu kapur atau pualam, gips, kalsit, dan sebagainya (Matsuoka, 2002). Selebihnya kalsium tersebar luas didalam tubuh. Di dalam cairan ekstraseluler dan inseluler kalsium memegang peranan penting dalam mengatur fungsi sel, mengatur pekerjaan hormon-hormon dan faktor pertumbuhan (Almatsier, 2002). Beberapa faktor penyerapan kalsium adalah adanya zat organik yang dapat bergabung dengan kalsium dan membentuk garam yang tidak larut (Winarno, 1991). Dari segi kesehatan apabila seseorang kekurangan kalsium akan menyebabkan gangguan pertumbuhan terutama usia 50 tahun maka tulang akan mudah bengkok dan kurang kuat, osteomalasia, dan mengalami kejang atau tetani. Sedangkan kelebihan kalsium menyebabkan

gangguan ginjal yang menimbulkan batu ginjal, maka tidak boleh mengkonsumsi sekitar 2500 mg (Almatsier, 2002).

2. 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 and Wilkinson, 1989). Di dalam penelitian ini digunakan senyawa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dimana nilai kelarutannya dalam air yaitu 320 g/L. Unsur tembaga dialam ditemukan dalam bentuk logam bebas atau persenyawaan. Logam tembaga dikelompokkan ke dalam logam penghantar listrik yang baik. Dalam bidang industri senyawa tembaga banyak digunakan seperti industri cat sebagai *antifouling*, industri peptisida dan fungisida. Logam Cu termasuk logam berat essensial, jadi meskipun beracun tetapi sangat dibutuhkan manusia dalam jumlah yang kecil. Toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Palar, 1994).

3. Kadmium (Cd)

Kadmium adalah suatu unsur kimia dengan lambang Cd dan nomor atom 48, juga merupakan logam berwarna putih keperakan yang dapat ditempa, liat, dan

mempunyai titik lebur 321°C (Susilawati, 2009). Cd adalah logam berat yang termasuk dalam golongan II B dalam sistem periodik. Logam ini akan mudah bereaksi dengan ligan-ligan yang mengandung unsur-unsur O, S dan N. Di dalam penelitian ini digunakan senyawa $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ dimana nilai kelarutannya dalam air yaitu $76.4 \text{ g}/100 \text{ mL}$. 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).

C. Adsorpsi

Salah satu metode yang digunakan untuk menghilangkan zat pencemar dari air limbah adalah adsorpsi (Rios *et al.*, 1999). Proses adsorpsi diharapkan dapat mengambil ion-ion logam berat dari perairan. Teknik ini lebih menguntungkan daripada teknik yang lain dilihat dari segi biaya yang tidak begitu besar serta tidak adanya efek samping zat beracun (Blais *et al.*, 2000). Adsorpsi merupakan proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul atau suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas, uap atau cairan (Oscik, 1982). Sedangkan Alberty and Daniel (1987) mendefinisikan adsorpsi sebagai fenomena yang terjadi pada permukaan. Adsorpsi secara umum didefinisikan sebagai

akumulasi sejumlah molekul, ion atau atom yang terjadi pada batas antara dua fasa. Adsorpsi menyangkut akumulasi atau pemusatan substansi adsorbat pada adsorben dan dalam hal ini 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 berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau letak-letak tertentu didalam adsorben.

Gaya tarik-menarik dari suatu padatan dibedakan menjadi dua jenis yaitu gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya *van der Waals*. Molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol (Castellan, 1982). Sedangkan pada adsorpsi kimia, interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia. Adsorpsi kimia terjadi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya *van der Waals* atau melalui ikatan hidrogen. Kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia yang terjadi setelah adsorpsi fisika. Dalam adsorpsi kimia partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen) dan cenderung mencari tempat yang memaksimumkan bilangan koordinasi dengan substrat (Atkins, 1999).

1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Adsorpsi

Secara umum, proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Oscik, 1982):

1.1. Sifat adsorbat

Besarnya adsorpsi zat terlarut tergantung pada kelarutannya dalam pelarut. Kenaikan kelarutan menunjukkan ikatan yang kuat antara zat terlarut dan pelarut dan aksi sebaliknya terhadap adsorpsi oleh adsorben. Makin besar kelarutannya, ikatan antara zat terlarut dengan pelarut makin kuat sehingga adsorpsi akan semakin kecil karena sebelum adsorpsi terjadi diperlukan energi yang besar untuk memecah ikatan zat terlarut dengan pelarut.

1.2. Sifat adsorben

Luas permukaan adsorben sangat berpengaruh terutama untuk tersedianya tempat adsorpsi. Adsorpsi merupakan suatu kejadian permukaan sehingga besarnya adsorpsi sebanding dengan luas permukaan spesifik. Makin besar luas permukaan makin besar pula adsorpsi yang terjadi.

1.3. pH larutan

pH mempengaruhi muatan pada permukaan sehingga mengubah kemampuannya menyerap senyawa dalam bentuk ion.

1.4. Konsentrasi adsorbat

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

1.5. Temperatur

Reaksi yang terjadi pada adsorpsi biasanya eksotermis, oleh sebab itu adsorpsi akan besar jika temperatur rendah.

1.6. Waktu kontak dan pengocokan

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

2. Parameter Adsorpsi

2.1. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adalah deskripsi laju reaksi. Kinetika adsorpsi tergantung pada luas permukaan partikel. Urutan reaksi mendefinisikan ketergantungan laju reaksi pada konsentrasi spesies yang bereaksi. Orde reaksi ditentukan secara empiris, tetapi

tidak berkaitan dengan stoikiometri reaksi. Sebaliknya, kinetika diatur oleh proses mekanisme, yaitu dengan jumlah spesies yang bertabrakan untuk terjadinya reaksi. Selain itu, kinetika juga dapat digunakan untuk menentukan kecepatan adsorpsi yang berlangsung dan menentukan kapasitas keseimbangan yang dapat dimanfaatkan dalam situasi yang dinamis dan praktis. Tingkat adsorpsi keseluruhan dipengaruhi oleh perubahan sifat dan komponen pelarut, serta ukuran partikel dan suhu. Kinetika reaksi adsorpsi juga tergantung pada gugus fungsional dan konsentrasi. Tingginya tingkat substitusi gugus fungsional pada polimer inert dapat meningkatkan laju reaksi keseluruhan (Allen *et al.*, 2004).

Analisis kinetika didasarkan pada kinetika reaksi terutama pseudo orde pertama atau mekanisme pseudo pertama bertingkat. Untuk meneliti mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi sorpsi kimia untuk ion-ion logam, digunakan persamaan sistem pseudo order pertama oleh Lagergren dan mekanisme pseudo order kedua (Buhani *et al.*, 2010). Persamaan ini digunakan untuk menguji data percobaan dari konsentrasi awal, suhu dan berat ion-ion logam dalam larutan (Zhang *et al.*, 2003). Model kinetika (pseudo urutan pertama dan persamaan orde dua) dapat digunakan dengan asumsi bahwa konsentrasi diukur sama dengan konsentrasi permukaan adsorben. Tingkat persamaan urutan pertama Lagergren adalah salah satu yang paling banyak digunakan untuk adsorpsi zat terlarut dari larutan cair (Liu *et al.*, 2004).

Untuk konstanta laju kinetika pseudo orde satu:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

Dengan q_e adalah jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi (mg/g) pada waktu keseimbangan, q_t adalah jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi pada waktu t (menit), k_1 adalah konstanta kecepatan adsorpsi (jam^{-1}). Integrasi persamaan ini dengan kondisi batas $t=0$ sampai $t=t$ dan $q_t = q_t$, memberikan:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

Dengan menggunakan regresi linear dan mengalurkan $\ln(q_e - q_t)$ terhadap t diperoleh konstanta k_1 . Untuk konstanta kecepatan reaksi pseudo orde kedua proses kemisorpsi:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Integrasi persamaan ini dengan kondisi batas $t = 0$ sampai $t = t$ dan $q_t = 0$ sampai $q_t = q_t$, memberikan:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (4)$$

Dengan k_2 konstanta keseimbangan order kedua kemisorpsi (g/mg.jam). Model kinetika pseudo order kedua dapat disusun untuk mendapatkan bentuk linear :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5)$$

(Zhang *et al.*, 1998).

2.2. Isoterm Adsorpsi

Model kesetimbangan adsorpsi yang sering digunakan untuk menentukan kesetimbangan adsorpsi adalah isotermal Langmuir dan Freundlich.

a. Isoterm adsorpsi Langmuir

Menurut Oscik (1982), teori Langmuir menjelaskan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Setiap situs aktif hanya satu molekul yang dapat diadsorpsi. Ikatan antara zat yang teradsorpsi dengan adsorben dapat terjadi secara fisika atau secara kimia. Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk mencegah perpindahan molekul yang telah teradsorpsi sepanjang permukaan adsorben.

Model adsorpsi isoterm Langmuir dapat dinyatakan dalam persamaan:

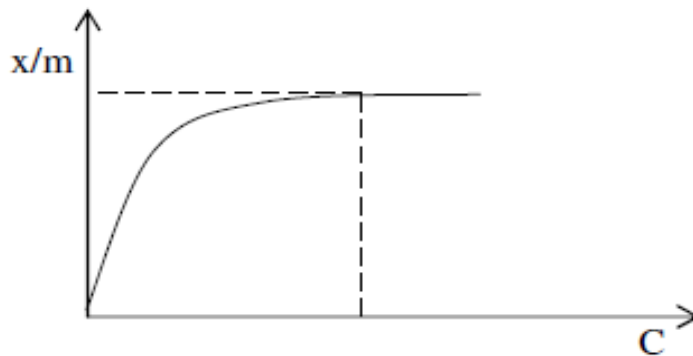
$$m = \frac{bC}{1 + bC} \quad (6)$$

dimana C adalah konsentrasi kesetimbangan, m adalah jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben, b adalah kapasitas adsorpsi dan K adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi. Dengan kurva linier hubungan antara C/m versus C , maka dapat ditentukan nilai b dari kemiringan (*slop*) dan K dari intersep kurva. Energi adsorpsi (E_{ads}) yang didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan apabila satu mol ion logam teradsorpsi dalam adsorben dan nilainya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi bebas Gibbs standar, ΔG^0 , dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$(7)$$

Dengan R adalah tetapan gas umum (8,314 J/mol K), T temperatur (K) dan K adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir dan energi total adsorpsi adalah sama dengan energi bebas Gibbs (Oscik, 1982). ΔG sistem negatif artinya adsorpsi beralangsung spontan.

Kurva isoterm adsorpsi Langmuir dapat disajikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir (Oscik and Cooper, 1994).

b. 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*. Hal tersebut berkaitan dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika dimana adsorpsi dapat terjadi pada banyak lapisan (*multilayer*) (Husin and Rosnelly, 2005).

Asumsi yang digunakan :

- i) Tidak ada asosiasi dan disosiasi molekul-molekul adsorbat setelah teradsorpsi pada permukaan padatan.
- ii) Hanya berlangsung mekanisme adsorpsi secara fisis tanpa adanya adsorpsi kimia.
- iii) Permukaan padat bersifat heterogen (Noll *et al.*, 1992).

Bentuk persamaan Freundlich adalah sebagai berikut:

–

(8)

Dimana:

Q_e = Banyaknya zat yang terserap per satuan berat adsorben (mol/g)

C_e = Konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mol/L)

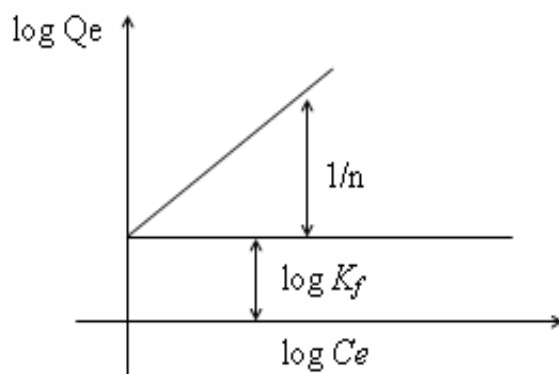
n = Kapasitas adsorpsi maksimum (mol/g)

K_f = Konstanta Freundlich (L/mol)

Persamaan di atas dapat diubah kedalam bentuk linier dengan mengambil bentuk logaritmanya:

$$- \quad (9)$$

Sehingga kurva isoterm adsorpsinya disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva isoterm adsorpsi Freundlich (Rousseau, 1987).

Bentuk linear dapat digunakan untuk menentukan kelinearan data percobaan dengan cara mengplotkan C/Q terhadap C_e . Konstanta Freundlich K_f dapat diperoleh dari kemiringan garis lurusanya dan $1/n$ merupakan harga slop. Bila n diketahui K_f dapat dicari, semakin besar harga K_f maka daya adsorpsi akan semakin baik dan dari harga K_f yang diperoleh, maka energi adsorpsi akan dapat dihitung (Rousseau, 1987).

Selain itu, untuk menentukan jumlah logam teradsorpsi, rasio distribusi dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi ion logam terhadap adsorben alga *Spirulina* sp dapat digunakan persamaan berikut:

$$Q = (C_o - C_a)V/W \quad (10)$$

Dimana Q menyatakan jumlah logam teradsorpsi (mg/g), C_o dan C_a menyatakan konsentrasi awal dan kesetimbangan dari ion logam (mmol/L), W adalah massa adsorben (g), V adalah volume larutan ion logam (L) (Buhani *et al.*, 2009).

D. Karakterisasi Material

1. Spektrofotometer *Infrared* (IR)

Spektrofotometer IR adalah spektrofotometer yang memanfaatkan sinar IR dekat, yakni sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang 2,5 - 25 μm atau jangkauan frekuensi 400 - 4000 cm^{-1} . Sinar ini muncul akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi-rotasi (Khopkar, 2001).

Spektrum inframerah suatu molekul adalah 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. Jadi molekul ini berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*); energi yang diserap ini akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar. Panjang gelombang

eksak dari absorpsi 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. Dengan demikian spektrofotometer inframerah dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul (Supratman, 2010).

2. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Metode analisis SSA didasarkan pada penyerapan energi radiasi pada panjang gelombang tertentu oleh atom-atom netral pada keadaan dasarnya (*ground state*) dalam bentuk gas. Penyerapan energi radiasi dengan panjang gelombang (λ) tertentu mengakibatkan terjadinya transisi elektronik dari tingkat energi dasar yang merupakan konfigurasi elektron yang paling stabil ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited state*).

SSA merupakan salah satu metode analisis logam yang sangat selektif dan sensitif, karena setiap atom memiliki garis resonansi yang spesifik. SSA digunakan untuk menentukan kadar unsur-unsur logam dan semi logam yang konsentrasinya relatif rendah di dalam sebuah sampel. Kebanyakan analisis SSA menggunakan nyala untuk atomisasi unsur yang dianalisis. Intensitas radiasi yang diserap sebanding dengan jumlah atom yang ada.

Pada prinsipnya metode analisis SSA mempunyai dua aspek, yaitu aspek kualitatif yang ditunjukkan oleh adanya serapan atom yang spesifik panjang gelombang tertentu dan aspek kuantitatif didasarkan pada hukum Lambert-Beer yang

menyatakan bahwa banyaknya sinar yang diserap sebanding dengan banyaknya atom yang ada dalam nyala atomisasi. Pengamatan banyaknya sinar yang diserap ini dilakukan dengan membandingkan intensitas radiasi sebelum diserap dengan intensitas radiasi setelah diserap oleh atom-atom pada tingkat energi dasar.

Suatu sampel pertama-tama harus dilarutkan (dekstruksi) yang bertujuan untuk membuat unsur logam menjadi ion logam yang bebas. Kemudian larutan sampel dimasukkan ke dalam nyala dalam bentuk aerosol yang selanjutnya akan membentuk atom-atomnya. Pada suhu nyala udara-asetilen (2300°C), atom dari sejumlah banyak unsur berada dalam keadaan dasar. Sumber emisi sinar yang digunakan adalah lampu katoda berongga yang mempunyai garis spektra yang tajam.

Lima komponen dasar instrumen SSA adalah sebagai berikut:

- a. Sumber sinar, berfungsi untuk mengemisikan spektrum spesifik untuk analit yang akan diukur;
- b. Sel sampel, sebagai wadah analit yang akan diukur dengan emisi dari sumber sinar;
- c. Monokromator, untuk memonokromatisasikan cahaya dari nyala pembakar;
- d. Detektor, biasanya digunakan *photomultiplier tube* yang berfungsi untuk mengubah energi sinar menjadi energi listrik;
- e. Rekorder, merupakan sistem pembacaan data dari instrumen elektronik (Skoog *et al.*, 2000).