

# KINETIKA BIOAKUMULASI LOGAM BERAT KADMIUM OLEH FITOPLANKTON *Chlorella sp* LINGKUNGAN PERAIRAN LAUT

## KINETICS BIOACCUMULATION HEAVY METAL CADMIUM BY ENVIRONMENTAL FITOPLANKTON *Chlorella sp* TERRITORIAL WATER SEA

Haryoto dan Agustono Wibowo

---

Fakultas Farmasi  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan apakah mekanisme bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* mengikuti kinetika orde satu dan apakah kenaikan pH medium dapat meningkatkan kemampuan akumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* lingkungan perairan laut. Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen dengan pereaksi Ditzon. Laju bioakumulasi logam berat Kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* dilakukan dengan cara memasukkan nutrisi yang mengandung logam kadmium ke dalam medium kultur, selanjutnya ditentukan besarnya laju pengambilan  $k_1$  dan laju pelepasan  $k_2$ . Sedangkan untuk menentukan apakah kenaikan pH medium dapat meningkatkan kemampuan akumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp*, dilakukan dengan cara menginteraksikan fitoplankton *Chlorella sp* dengan berbagai pH pada konsentrasi kadmium sebesar 0,25 mg/L. Jumlah logam kadmium dalam fitrap setelah interaksi ditentukan secara spektrofotometri menggunakan spektroskopik 20-D panjang gelombang 510 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinetika bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* mengikuti kinetika orde-1, dengan harga tetapan laju pengambilan  $k_1 = 0,3146/\text{menit}$  dan laju pelepasan  $k_2 = 0,0033/\text{menit}$ . Kemampuan akumulasi sangat dipengaruhi oleh pH medium, di mana kemampuan akumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* meningkat seiring dengan naiknya pH medium yang digunakan dan kemampuan akumulasi logam kadmium mencapai optimum pada pH = 8 yaitu sebesar 0,5150 mg Cd<sup>2+</sup>/g fitoplankton *Chlorella sp*.

**Kata Kunci:** bioakumulasi, kadmium, *Chlorella sp*.

## ABSTRACT

This research is entitled Kinetics Bioaccumulation Heavy Metal Cadmium by Environmental Fitoplankton *Chlorella* sp Territorial water Sea. This Research aims to determine the heavy of metal bioakumulatoin mechanism cadmium by *chlorella* sp fitoplankton follow order kinetics one and the increases of medium pH that can improve the ability of accumulation of heavy metal cadmium by environmental sp *chlorella* fitoplankton territorial water sea. This research applies an experiment method with Ditizon pereaksi. The fast heavy metal bioaccumulation of Cadmium by *chlorella* sp phytoplankton is conducted by including pregnant nutrient cadmium metal into culture medium, then determined the level of accelerating intake  $k_1$  and accelerating release  $k_2$ . While to determine the increase of medium pH that is able to improve the ability of accumulation heavy metal cadmium by *chlorella* sp phytoplankton which is used by *Chlorella* phytoplankton sp interaction with various pH cadmium concentration in equal to 0,25 mg / L. Amount of cadmium metal in fitrap after interaction is determined by spectrophotometer by using spektronik 20-D wavelength 510 nm. The result of the research shows that heavy metal bioaccumulation kinetics cadmium by *chlorella* sp phytoplankton follows orde-1 kinetics, at the price of fast constant intake  $k_1 = 0,3146$  / minute and fast release  $k_2 = 0,0033$  / minute. It means that the result of research indicates that ability of accumulation is quietly influenced by medium pH, where as the ability of accumulation heavy metal cadmium by *chlorella* sp phytoplankton increases along with going up of used medium pH and accumulation ability of optimum tired cadmium metal at pH = 8 that is equal to 0,5150 Cd<sup>2+</sup> mg / g *chlorella* sp phytoplankton.

**Keywords:** kinetics bioaccumulation heavy metal cadmium, environmental fitoplankton *Chlorella* sp and water sea.

## LATAR BELAKANG

Wilayah laut Indonesia membentang melebihi lima juta kilometer persegi atau hampir dua kali luas daratannya. Pada satu sisi, laut merupakan tempat hidup berbagai biota laut, pada sisi lain merupakan tempat terakhir pembuangan limbah akibat pencucian atmosfer oleh air hujan yang dialirkan melalui sungai.

Semakin bertambahnya aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan, menyebabkan peningkatan jumlah dan jenis pencemar yang masuk ke lingkungan perairan laut, sehingga pada suatu saat akan dapat melampaui kesetimbangan air laut yang mengakibatkan sistem perairan laut tercemar. Hal tersebut jelas dapat menurunkan daya guna perairan laut.

Dalam dasawarsa terakhir, kandungan logam berat di perairan mendapat perhatian yang cukup besar bagi para ahli toksikologi (Marr dan Creser, 1983). Beberapa logam berat seperti Cu, Fe, dan Zn merupakan komponen penting untuk pertumbuhan organisme, tetapi dalam jumlah besar dapat menjadi racun bagi pertumbuhannya. Jenis logam berat lainnya seperti Cd, Hg, dan Pb belum diketahui manfaatnya bagi pertumbuhan organisme, bahkan keberadaan logam tersebut dapat menggantikan logam berat yang dibutuhkan oleh organisme.

Interaksi logam berat dengan bahan organik yang terkandung di perairan atau proses metilasi oleh biota akan mempengaruhi tingkat keracunan logam berat tersebut. Pencemaran logam berat secara serius pernah terjadi di Teluk Minamata Jepang pada tahun 1953-1960 di mana ratusan orang menjadi korban. Hasil pengukuran kadar merkuri anorganik di perairan tidak pernah melampaui ambang batas, namun proses bioakumulasi telah menyebabkan merkuri terakumulasi oleh biota laut dalam bentuk metil merkuri (Arifin, 1997). Dari pengalaman di atas menunjukkan bahwa pemantauan suatu sistem perairan tidak cukup dengan mengukur secara fisiko-kimia airnya saja, tetapi harus melibatkan juga biota yang hidup di perairan tersebut.

Beberapa organisme telah diusulkan sebagai bioindikator pencemaran, penyelidikan telah dilakukan dengan cara sampling di lokasi penelitian dan di dalam laboratorium. Dari penelitian-penelitian tersebut, penyelidikan yang dilakukan lebih ditekankan pada kemampuan organisme dalam mengakumulasi logam-logam berat, tetapi masih sangat sedikit yang mempelajari kinetika dari bioakumulasi tersebut.

Dalam penelitian ini dipelajari kemungkinan penggunaan fitoplankton sebagai bioindikator kuantitatif pencemaran logam berat di perairan. Pemilihan fitoplankton sebagai bioindikator kuantitatif didasarkan pada pertimbangan bahwa fitoplankton merupakan organisme bersel tunggal yang luas permukaannya besar dibandingkan dengan rasio volumenya, sehingga memiliki kemampuan akumulasi yang tinggi dalam waktu yang relatif singkat terhadap zat organik maupun anorganik (Kullenberg, 1987), yaitu berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam (Fowter, 1984, dalam Kullenberg, 1987), selanjutnya fitoplankton merupakan bagian awal rantai makanan bagi organisme perairan yang lebih tinggi. Oleh karena itu suatu zat yang terakumulasi dalam fitoplankton, akan terakumulasi juga pada organisme perairan yang lebih tinggi.

Dari uraian di atas nampak pentingnya mempelajari kinetika bioakumulasi logam berat ke dalam organisme, karena data tersebut dapat digunakan sebagai ukuran kuantitatif untuk menilai sumbangan berbagai proses individual (Connel dan Gregori, 1995). Oleh karena fitoplankton mewakili pion pertama masuknya polutan ke dalam rantai makanan, maka informasi tentang kinetika bioakumula-

si logam berat dalam fitoplankton merupakan informasi yang memegang peranan penting dalam perubahan kualitas lingkungan secara keseluruhan.

Secara khusus, dalam penelitian ini dilakukan kajian Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium Oleh Fitoplankton *Chlorella sp* Lingkungan Perairan Laut. Dalam penelitian ini dipilih logam berat kadmium dan fitoplankton *Chlorella sp* karena logam kadmium merupakan salah satu pencemar lingkungan yang serius, karena sifat racunnya yang tinggi dan terakumulasi dalam hati dan ginjal melalui ikatan yang kuat dengan residu-residu dari metalotionin. (Faust dan Aly, 1981), Sedangkan pemilihan fitoplankton *Chlorella sp* dalam penelitian ini, dikarenakan *Chlorella sp* merupakan salah satu spesies fitoplankton yang memenuhi persyaratan sebagai bioindikator pencemaran perairan dan mudah dibudidayakan (Arifin, 1997).

Kadmium terdapat di alam terutama dalam biji timbal dan zink. Karenanya, logam ini banyak dilepaskan di daerah pertambangan dan tempat peleburan logam ini (Frank, 1994). Pencemaran akibat logam berat kadmium pernah terjadi di Jepang yaitu pada sungai Jintsu yang dikenal dengan kasus "Itai-itai", di mana pencemaran diakibatkan oleh aktivitas pertambangan yang membuang limbah mengandung kadmium ke dalam sungai tersebut. Melalui interaksi dengan rantai makanan akhirnya kadmium sampai pada manusia. Akibatnya, pada akhir tahun 1965 telah menimbulkan ratusan korban kematian bagi penduduk setempat (Arifin, 1997). Kadmium bahan beracun yang menyebabkan keracunan kronik pada manusia, maka tingkat maksimum yang diperbolehkan di perairan adalah 0,01 mg/L (Peraturan Pemerintah RI No 20 Tahun 1990).

Plankton merupakan suatu organisme yang berukuran kecil yang hidupnya melayang-layang terombang-ambing oleh arus di lautan bebas. Fitoplankton terdiri dari makhluk hidup hewan yang disebut zooplankton dan tumbuh-tumbuhan yang disebut fitoplankton. Fitoplankton yang bersel satu yang penting adalah golongan diatom dan dinoflagelata. Beberapa kelompok dinoflagelata yang biasa terdapat di perairan adalah *Chlorella sp*, *Dunaliella sp*, *Tetracelmis chuii* dan *Spirolina* (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995). *Chlorella sp* merupakan salah satu jenis fitoplankton dengan sistematika sebagai berikut:

Filum : *Chlorophyta*  
Kelas : *Chlorophyceae*  
Ordo : *Chlorococcales*  
Familia : *Chlorellaceae*  
Genus : *Chlorella*  
Spesies : *Chlorella sp*

Kemampuan biota mengakumulasi zat dari mediumnya dinyatakan dengan faktor bioakumulasi, yaitu perbandingan kandungan zat dalam biota terhadap kandungan zat dalam mediumnya. Fitoplankton, seperti halnya organisme lain memiliki mekanisme perlindungan untuk mempertahankan kehidupannya. Menurut Connel Des W., (1990), mekanisme perlindungan ini melibatkan pembentukan kompleks-kompleks logam dengan protein dalam sel, sehingga logam dapat terakumulasi dalam sel tanpa mengganggu aktivitasnya. Pada konsentrasi logam yang tinggi, akumulasi dapat mengganggu pertumbuhan sel, karena sistem perlindungan organisme tidak mampu mengimbangi efek toksisitas logam.

Sehubungan dengan latar belakang di atas, ada dua permasalahan yang perlu dipahami untuk menjelaskan proses kimia yang terjadi dari bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Clorella sp*, yaitu: (1) apakah mekanisme bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* berlangsung mengikuti kinetika orde satu?, dan (2) apakah kenaikan pH medium dapat meningkatkan kemampuan akumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* lingkungan perairan laut?.

Adapun tujuan penelitian ini adalah (1) menentukan apakah mekanisme bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* berlangsung mengikuti kinetika orde satu, dan (2) menentukan apakah kenaikan pH medium dapat meningkatkan kemampuan akumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* lingkungan perairan laut.

Keberhasilan penelitian ini dapat memberikan informasi tentang kinetika bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* dan pengaruh pH medium terhadap kemampuan akumulasi. Manfaat ini diharapkan menjadi pertimbangan bagi penggunaan fitoplankton *Chlorella sp* sebagai bioindikator kuantitatif pencemaran logam berat kadmium di perairan. Manfaat ke depan yang diharapkan adalah fitoplankton *Chlorella sp* dapat digunakan sebagai adsorben untuk menanggulangi pencemaran logam berat kadmium di perairan dan untuk memperoleh kembali logam kadmium yang terbuang bersama limbah industri maupun pertambangan.

## METODE PENELITIAN

### Kultur Fitoplankton

Fitoplankton uji yang digunakan yaitu spesies *Chlorella sp*, berasal dari Balai Benih Udang Kendari. Sediaan fitoplankton dikultur pada medium walne (Chui Liao, 1990) dalam erlenmeyer 100 mL (kepadatan awal inokulasi 1 juta sel/mL dan kepadatan sel kultur 10%). Setelah dikultur 4 hari, kemudian kultur dipindahkan ke botol 500 mL, dan setelah 4 hari berikutnya, kultur dipindahkan

ke toples 3000 mL. Selama pelaksanaan kultur, parameter fisika-kimia dipertahankan meliputi penerangan dari lampu TL 40 watt diberikan secara kontinu, gas CO<sub>2</sub> dari aerasi, suhu antara 25-27°C, pH medium kultur antara 7,5-8,5, serta salinitas medium kultur 30 ppt.

### Menentukan Laju Bioakumulasi Logam Berat Kadmium Oleh fitoplankton *Chlorella sp.*

Untuk menentukan laju bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* dilakukan dengan cara memasukkan nutrien yang mengandung kadmium ke dalam medium kultur. Selanjutnya ditentukan harga konstanta lajunya.

Ke dalam gelas reaktor 250 mL dimasukkan 24 mL medium fitoplankton, ditambahkan 1 mL larutan logam Cd<sup>2+</sup> dari kadmium klorida sehingga konsentrasi Cd<sup>2+</sup> menjadi 0,25 ppm. Konsentrasi 0,25 ppm digunakan karena pertumbuhan fitoplankton masih berlangsung normal pada konsentrasi tersebut (Arifin, 1997). Selanjutnya interaksi dilakukan dengan waktu berturut-turut 5, 10, 15, 30, 45, 60, dan 120 menit. Setelah interaksi, dilakukan penyaringan dengan menggunakan Whatman glass mikrofiber tipe GF/F 100 ukuran 0,7 mm diameter 47 mm. Larutan hasil penyaringan (filtrat) diambil 15 mL, lalu diukur kandungan kadmiumnya dengan spektrometri 20 D.

Penentuan logam berat Cd<sup>2+</sup> yang terakumulasi oleh fitoplankton ditentukan dengan memperhitungkan selisih antara konsentrasi Cd<sup>2+</sup> awal dengan yang terkandung dalam filtrat. Untuk memperkirakan kemungkinan ada logam berat dalam medium sebelum interaksi dan yang hilang terserap gelas reaktor, dilakukan dengan kontrol.

Untuk mengetahui berat fitoplankton yang digunakan saat interaksi, dalam wadah kultur yang sama diambil 24 mL medium fitoplankton kontrol lalu disaring dengan kertas saring Whatman glass mikrofiber filter tipe GF/F 100. Selama proses penyaringan dilakukan penambahan aquades untuk menghilangkan kadar garamnya. Kertas saring yang digunakan, sebelumnya dikeringkan pada suhu 100°C selama 15 menit. Setelah dingin ditimbang hingga konstan.

Data hasil akumulasi selanjutnya dievaluasi pada setiap interval waktu untuk memperoleh interaksi maksimum pada saat kesetimbangan yaitu saat jumlah logam berat kadmium terakumulasi optimum yang ditunjukkan dengan penambahan waktu interaksi tidak meningkatkan kemampuan akumulasi. Hasil perbandingan antara besarnya kandungan Cd<sup>2+</sup> dalam fitoplankton dan dalam air saat kesetimbangan diperoleh konstanta kesetimbangan  $K$  yang sesuai dengan persamaan (4). Dengan mengalurkan hubungan antara  $\ln \{ [Mw] - [Mw]_{\infty} \}$  versus  $t$ , maka harga tetapan laju  $k_1$  dan  $k_2$  dapat ditentukan.

## Pengaruh pH

Ke dalam gelas reaktor 250 mL dimasukkan 24 mL medium fitoplankton lalu ditambahkan larutan  $Cd^{2+}$  hingga konsentrasinya 0,25 ppm. pH-nya diatur masing-masing 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 dengan menambahkan  $HNO_3$  atau  $NH_4OH$ . Masing-masing perlakuan diinteraksikan selama waktu optimum (diperoleh dari perlakuan 3). Perlakuan selanjutnya penyiangan, penimbangan dan penentuan kandungan kadmium di medium dan di fitoplankton dilakukan seperti bagian 3 (tiga).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian penentuan laju bioakumulasi serta pengaruh pH medium terhadap kemampuan akumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* lingkungan perairan laut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

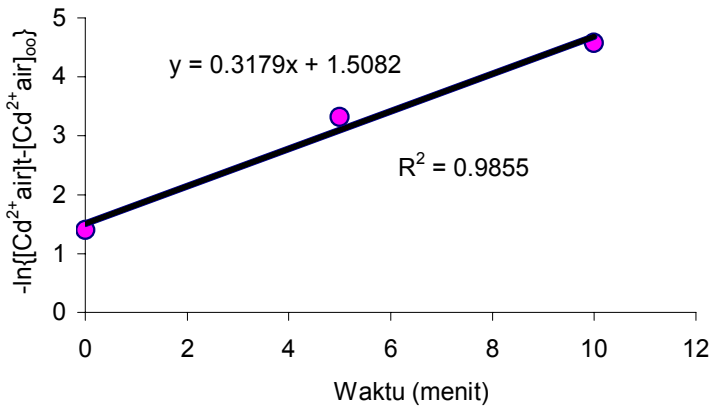
Tabel 1. Hasil Akumulasi 12 mg Fitoplankton *Chlorella sp* pada Berbagai Waktu, Interaksi dalam 25 mL Medium yang Mengandung 0,25 mg/L Kadmium ( $Cd^{2+}$ ).

Waktu (menit)	[ $Cd^{2+}$ ]sisa (ppm)	[ $Cd^{2+}$ ] (ppm) terakumulasi	Persentase terakumulasi	mg $Cd^{2+}$ terakumulasi pergram <i>Chlorella sp</i>
0	0.0000	0.0000	0.000	0.0000
5	0.0387	0.2113	84.52	0.4402
10	0.0129	0.2371	94.83	0.4939
15	0.0026	0.2474	98.96	0.5154
30	0.0038	0.2462	98.49	0.5129
45	0.0030	0.2470	98.80	0.5149
60	0.0057	0.2443	97.71	0.5089
120	0.0040	0.2460	98.40	0.5125

Dari Tabel 1 dapat dibuat grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.

Gambar 2. Grafik Pengaruh Waktu terhadap Akumulasi Logam Berat Kadmium oleh 12 mg *Chlorella sp*

Dari Tabel 1 dapat dibuat grafik laju berkurangnya logam kadmium dalam air sampai tercapainya keadaan kesetimbangan dengan waktu interaksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.

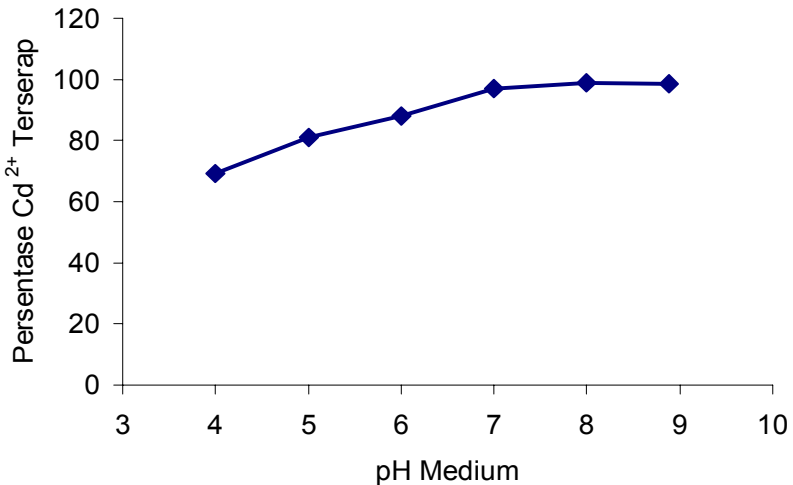


Gambar 3. Grafik Hubungan Antara  $-\ln\{[Cd^{2+} \text{ air}]_t - [Cd^{2+} \text{ air}]_{\infty}\}$  dengan Waktu Interaksi oleh Fitoplankton *Chlorella sp*



Tabel 2. Hasil Akumulasi 12 mg Fitoplankton *Chlorella sp* pada Berbagai pH, dalam 25 mL Medium yang Mengandung 0,25 mg/L Kadmium ( $Cd^{2+}$ ) dengan Waktu Interaksi 15 menit.

Dari Tabel 2 di atas dapat dibuat grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini



Gambar 4. Grafik Pengaruh pH Medium terhadap Kemampuan Akumulasi Logam Berat Kadmium pada *Chlorella sp*.

## 2. Pembahasan

### Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium oleh Fitoplankton *Chlorella sp.*

Proses akumulasi bahan pencemar ke dalam fitoplankton *Chlorella sp* dari lingkungannya terjadi akibat interaksi antara bahan pencemar tersebut dengan permukaan tubuhnya. Karena fitoplankton *Chlorella sp* adalah organisme renik bersel tunggal yang seluruh permukaannya dilapisi oleh membran sel, maka masuknya bahan pencemar tersebut melalui membran selnya.

Data akumulasi kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* dapat dilihat pada Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa akumulasi logam kadmium pada saat 5 menit pertama sebesar 84,52 % dan pada waktu 10 menit akumulasi kadmium naik menjadi 94,88 % dan pada saat 15 menit berikutnya, kemampuan akumulasi kadmium naik lagi menjadi 98,96 %. Untuk waktu interaksi 30 menit sampai 120 menit, jumlah logam kadmium yang terakumulasi cenderung konstan. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada grafik hubungan antara waktu interaksi dengan persentase logam kadmium terakumulasi oleh fitoplankton *Chlorella sp* pada Gambar 2. Hal ini dapat terjadi karena telah tercapai suatu keadaan kesetimbangan antara konsentrasi logam kadmium di dalam fitoplankton *Chlorella sp* dan konsentrasi logam kadmium di dalam medium air laut, sehingga jumlah logam kadmium yang terikat sudah mencapai maksimum. Ini berarti waktu yang diperlukan oleh fitoplankton *Chlorella sp* untuk mencapai jumlah pengikatan maksimum terhadap logam kadmium adalah 15 menit. Data ini sesuai dengan hasil penelitian Fowter (1984), dalam Kullenberg (1987), yang menyatakan bahwa waktu untuk mencapai keadaan kesetimbangan bagi fitoplankton berkisar antara beberapa menit sampai beberapa jam.

Untuk mempelajari proses akumulasi logam kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* dapat dilakukan dengan cara menganggap proses akumulasi sebagai proses kesetimbangan pengambilan dan pelepasan seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 tersebut proses masuknya logam kadmium ke dalam sel fitoplankton *Chlorella sp* dianggap berlangsung karena proses difusi pasif di mana logam kadmium diangkut ke dalam sel berdasarkan gradien konsentrasi yaitu dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang rendah, dan sistem berada dalam kompartemen tunggal di mana sel fitoplankton *Chlorella sp* dianggap sebagai satu kompartemen. Berdasarkan anggapan tersebut di atas, maka laju berkurangnya logam dalam medium air laut dapat dirumuskan sesuai dengan persamaan (1). Hasil dari penyelesaian persamaan (1) diperoleh persamaan (12) yang dapat dibuat grafik untuk menentukan proses transpor logam kadmium ke dalam fitoplankton *Chlorella sp*, yaitu jika grafiknya linear (garis lurus), maka proses akumu-

lasi mengikuti kinetika orde 1, jika grafiknya tidak linear maka tidak mengikuti kinetika orde 1.

Pada Gambar 3, disajikan grafik hubungan antara dengan waktu interaksi, di mana grafik tersebut menggambarkan laju berkurangnya logam kadmium dalam medium air laut hingga tercapainya keadaan kesetimbangan yang sesuai dengan persamaan (12). Dari Gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa hubungan antara kedua variabel tersebut adalah linear. Persamaan regresi linearnya yang diperoleh dari program excel versi 6 adalah dengan koefisien regresi ( $R^2$ ) = 0,9855 Harga koefisien regresi tersebut mendekati 1, sehingga dapat dinyatakan bahwa proses akumulasi logam kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* berlangsung mengikuti kinetika orde 1.

Dari hasil penelitian, laju pengambilan seimbang dengan laju pelepasan tercapai setelah 15 menit. Dari Tabel 1 terlihat bahwa konsentrasi logam kadmium pada waktu tersebut dalam medium air laut sebesar 0,0026 mg/L dan dalam fitoplankton *Chlorella sp* sebesar 0,2474 mg/L. Dengan menggunakan persamaan (4) seperti ditunjukkan pada perhitungan orde reaksi Lampiran 5, diperoleh tetapan kesetimbangan  $K$  sebesar 95,154.

Berdasarkan harga slope dari persamaan regresi linear pada Gambar 3 dan nilai tetapan kesetimbangan  $K$ , harga tetapan laju pengambilan  $k_1$  dan harga konstanta laju pelepasan  $k_2$  serta waktu paruh biologis logam kadmium dalam fitoplankton *Chlorella sp* dapat ditentukan. Hasil perhitungan orde reaksi Lampiran 5, diperoleh tetapan laju pengambilan  $k_1 = 0,3146$  dan harga tetapan laju pelepasan  $k_2 = 0,0033$ . Dari data tersebut nampak bahwa terjadi proses akumulasi logam kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* yaitu logam kadmium yang masuk ke dalam sel cenderung menetap dalam sel, karena harga konstanta laju pelepasan logam kadmium relatif kecil dibandingkan dengan harga konstanta laju penyerapan logam kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp*.

### **Pengaruh pH Medium Terhadap Kemampuan Akumulasi Logam Berat Kadmium oleh Fitoplankton *Chlorella sp*.**

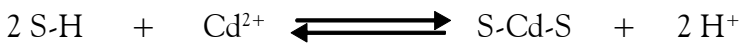
Hasil Pengukuran untuk mengamati pengaruh pH medium terhadap kemampuan fitoplankton *Chlorella sp* dalam mengakumulasi logam kadmium ditunjukkan pada Tabel 2. Pada tabel tersebut terlihat bahwa pola akumulasi logam kadmium yang perlahan-lahan naik dengan naiknya pH medium air laut yang digunakan. Pada saat pH = 5 logam kadmium yang terakumulasi 69,24 % atau 0,3606 mg  $Cd^{2+}$  /g fitoplankton *Chlorella sp*, dan pada saat pH medium yang digunakan dinaikkan, kemampuan akumulasinya semakin meningkat dan mencapai optimum pada pH = 8 yaitu sebesar 98,88 %. Selanjutnya kenaikan pH medium yang lebih tinggi yaitu pH = 9 kemampuan akumulasinya cenderung

konstan yaitu sebesar 98,72 %. Hal ini terjadi karena pada pH = 8 telah tercapai penyerapan maksimum.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa proses akumulasi dipengaruhi oleh pH medium. Data tersebut sesuai dengan hasil penelitian Demon (1989), yang menyatakan bahwa penyerapan logam oleh mikro alga akan meningkat seiring dengan kenaikan pH medium yang digunakan. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Proses penyerapan logam oleh fitoplankton *Chlorolla sp* merupakan gabungan proses aktif yang melibatkan metabolisme dan proses pasif tidak melibatkan metabolisme. Sel fitoplankton *Chlorella sp* melalui proses aktif dapat mensintesis protein pengkhelat logam fitokhelatin untuk merespon pengaruh negatif dari logam berat (How dkk, 1992 dalam Arifin, 1997). Fitokhelatin disintesis dari suatu turunan tripeptida (glutation) yang tersusun dari glutamat, cystidin, dan glisin. Glutation ada dalam seluruh sel, sering dalam tingkat yang tinggi (Lehniger dkk, 1993). Jika dalam lingkungannya termediasi oleh logam kadmium, maka glutation membentuk fitokhelatin. Fitokhelatin ini selanjutnya akan membentuk fitokhelatin-Cd yang selanjutnya akan diteruskan ke vakuola.

Selain melalui proses metabolisme, proses penyerapan logam kadmium juga dapat terjadi melalui proses pertukaran ion antara logam kadmium dengan kation dinding sel, atau melalui pembentukan ikatan kovalen antara logam dengan gugus aktif pada dinding sel. Dinding sel fitoplankton terdiri atas berbagai senyawa organik seperti Protein, Polisakarida, asam alginat dan asam uronat yang dapat berikatan dengan logam (Greene, dkk, 1986).

Dari uraian di atas, proses penyerapan logam kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* melibatkan reaksi kimia baik pertukaran ion maupun pembentukan ikatan kompleks. Proses penyerapan logam kadmium yang berkaitan dengan pH medium adalah:



di mana S adalah permukaan absorben (Basta dan Tabatabai, 1992). Dari reaksi di atas nampak bahwa akumulasi logam kadmium akan meningkatkan konsentrasi ion  $\text{H}^{+}$ . Karena reaksi diatas merupakan reaksi kesetimbangan, maka kenaikan pH medium menyebabkan reaksi bergeser ke produksi ion  $\text{H}^{+}$ , yang berarti semakin banyak jumlah logam kadmium yang terkomplekskan. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini di mana kenaikan pH medium dari pH = 4 ke pH = 8 pada medium yang digunakan menyebabkan kemampuan akumulasi logam kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* semakin meningkat, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.

Kemampuan akumulasi logam kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp*

pada pH yang lebih tinggi dari pH = 8 yaitu pada pH = 9 tidak mengalami kenaikan yang berarti atau cenderung konstan. Hal ini disebabkan karena pada pH = 8 penyerapan telah mencapai harga maksimum, di mana situs aktif pada dinding sel fitoplankton *Chlorella sp* telah jenuh oleh logam kadmium, dan pada pH = 9 tersebut kondisinya lingkungan kurang menguntungkan bagi kelangsungan hidupnya, di mana pH optimum yang dibutuhkan oleh fitoplankton *Chlorella sp* berkisar antara pH = 7 – 8,5 oleh karena itu kenaikan pH tidak dapat menaikkan kemampuan akumulasi.

Perbedaan pH optimum yang diperoleh oleh Demon, dkk (1989), yaitu pH = 7 dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dimungkinkan terjadi karena adanya perbedaan kondisi eksperimental dan spesies fitoplankton yang digunakan, di mana pada penelitian ini menggunakan jenis fitoplankton *Chlorella sp*.

## SIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan:

1. Mekanisme bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp* berlangsung mengikuti kinetika orde-1, dengan tetapan laju pengambilan  $k_1$  dan laju pelepasan  $k_2$  berturut-turut adalah : 0,3146 ; 0,0033.
2. Kenaikan pH medium dapat meningkatkan kemampuan akumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella sp*. Kemampuan akumulasi mencapai optimum pada pH = 8 yaitu sebesar 98,88 %, atau 0,5150 mg Cd<sup>2+</sup>/g fitoplankton *Chlorella sp*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anil K.D. 1987. *Environmental Chemistry*. India: Willey Easten Limited.
- Anonim. 1995. *Peraturan Pemerintah RI No.20 Tahun 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air*, Biro Lingkungan Hidup, Setwilda Prop. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Arifin. 1997. "Studi Interaksi antara Kadmium dan Fitoplankton Lingkungan Laut, Thesis, Program Pasca Sarjana Program Studi Kimia FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Basta N.T., and Tabataba M.A. 1992. *Effcot of Cropping Grauping In The Soil Organio Praction*, J. Soil Sci, 74 ; 447-457.

- Chui Liao, I. H., Meei Su, dan J. Hwa Lin. 1983. *Larva Foods for Penaeid Prawns*. In Mc Vey, J.P, dan J.R. Moor (editor), *CRC Handbook of Marine Culture*, pp. 43-69. Volume 1. Crustacean Aquacultur. Florida: CRC Press, Inc. Boca Raton.
- Crist, R.H., Martin, J.R., Guptill, P.W., and Eslinger, J.M. 1990. *Interaction of Metal and Proton with Algae 2. Ion Exchange in Absorption and Metal Displacement by Protons*, Environ. Sci. Technol., 24, 3, 337-342.
- Connel, Des W. 1990. *Bioaccumulation of Xenobiotic Compoun*. Florida: CRC Drees Inc.
- Connel Des W., Gregory J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*, Terj; Yanti K., Sahati. Jakarta: UI-Press.
- Darnall, D.W., Greene, B., Hemzl, M., Hosea, J.M., McPherson, R.A., Snedon, J., dan Alexander, M.D. 1986. *Selective Recovery of Gold and Other Metal Ions from an Algal Biomass*, Environ. Sci. Technol., 20, 2, 206-207.
- Demon A., Debrunin M., dan Wolterbeek. 1989. *The Influence of pretreatment, Temperature and Calcium ion Trace Element Uptake By An Algae (Scenedesmus Bannonicus sub sp. Berlin) and Fugus (Aureobasidium Pullunans)*, Environmental Monitoring and Assesment, 13 ; 31-23.
- Falsom, B.R., Popescus, N.A., dan Wood, J.M. 1986. *Comperative Study of Aluminum and Copper Transfort and Toxicity in an Acid-tolerant Freshwater Green Algae*, Environ. Sci. Technol., 20, 6, 616-620.
- Frank C. L., 1994, *Toksikologi Dasar (Asas Organ Sasaran dan Penilaian Resiko)*, Terj. Iwan D. Jakarta: UI Press.
- Franson M. A. H., Greenberg, A.E., R. Rhodes Trussell dan Lenore S. Cleseeri, 1985. *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater* 16<sup>th</sup> Editin, Washington D.C.
- Faust s.d., and Aly (editor). 1981. *Chemistry of Natural Water*. USA: Ann Abror Science.
- Greene, B., Hosea, M., McPherson, R., Henzi, M., Alexander, M.D., dan Darnall, D. W. 1986. *Interaction of Gold (I) and Gold (III) Complexes with Algal Biomass*, Environ. Sci. Technol, vol 20, No 6, 627-632.
- Shubert L.E. 1984. *Algae As Ecological Indicator*. London: Academic Press.

- Harris, P.O., and Ramelow, G.J. 1990. *Binding of Metal Ions by Particulate Biomass Derived from Chlorella and Scenedesmus quandicauda*, Environ. Sci. Technol., 24, 2, 220-227.
- Inansetyo dan Kurniastuti. 1995. *Tehnik Kultur Fitoplankton dan Zooplankton*. Yogyakarta: Kasinus.
- Kullenberg G. 1987. *Pollutant Transfer And Transport In The Sea*, Vol. II. Florida: CRC Press. Inc.
- Lehniger A.L., Nelson D.L., and Cox M.M. 1993. *Principles Of Biochemistry*, Sccond Edition. New York: Worth Publishers.
- Marr and Cresser. 1987. *Environmental Chemistry Analysis*. New York: International Tex Book Company.
- Palar H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Saeni M.S. 1989. *Kimia Lingkungan*. Bogor: IPB.
- Wright, P.J., dan Weber, J.H. 1991. *Biosorption of Inorganic Tin and Methyltin Compounds by Estuarine Macroalgae*, Environ. Sci. TecnoI., 25, 287-294.