

# Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) oleh *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Sublethal

Wenny Devinta Dwi Rahmadiani dan Aunurohim

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail:* aunurohim@bio.its.ac.id

**Abstrak**—Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *Chaetoceros calcitrans* dalam menyerap kadmium (Cd) pada konsentrasi sublethal. Penelitian ini menggunakan logam berat kadmium (Cd) yang dipaparkan pada fitoplankton uji selama 96 jam. Konsentrasi yang digunakan adalah konsentrasi sublethal (10% dari LC<sub>50</sub>), Analisa kandungan kadmium dilakukan pada seluruh tubuh *Chaetoceros calcitrans* dan air media pemaparan dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Chaetoceros calcitrans* dapat menyerap logam berat kadmium (Cd) dari air media pemaparan setelah 96 jam yaitu sebesar 7,036; 7,385; dan 5,071 mg/g dw pada masing-masing konsentrasi 0,1; 0,2; dan 0,4 ppm. Sedangkan untuk kemampuan *Chaetoceros calcitrans* dalam mengakumulasi logam berat kadmium (Cd) ditunjukkan oleh nilai faktor biokonsentrasi (BCFs) pada masing-masing konsentrasi tersebut berturut-turut adalah 1000,515; 679,936; dan 120,106. Berdasarkan nilai BCFs tersebut *Chaetoceros calcitrans* termasuk dalam kategori sifat akumulatif sedang hingga tinggi. Hasil analisa *one way ANOVA* yang telah dilakukan, menunjukkan tidak adanya pengaruh antara konsentrasi kadmium dan nilai BCFs yaitu dengan *P-value* sebesar 0,617 pada *Chaetoceros calcitrans*.

**Kata Kunci**—*Chaetoceros calcitrans*, Kadmium, Faktor biokonsentrasi (BCFs), Konsentrasi sublethal,

## I. PENDAHULUAN

Meningkatnya industri memberikan dampak meningkatnya pelepasan limbah ke lingkungan sekitar termasuk didalamnya lingkungan perairan laut. Buangan limbah yang masuk ke perairan laut dapat melalui aliran *run off* maupun aliran sungai. Salah satu limbah industri yang dilepaskan ke perairan laut adalah logam berat [1]. Telah diketahui bahwa sekitar 70 % wilayah Indonesia adalah perairan laut yang merupakan sumberdaya yang sangat besar untuk dapat dimanfaatkan bagi kesejahteraan manusia. Peningkatan konsentrasi logam berat di lingkungan perairan laut menimbulkan kekhawatiran masyarakat. Kekhawatiran ini disebabkan tingkat toksisitas logam berat yang sangat tinggi bagi makhluk hidup terutama bila terjadi bioakumulasi pada rantai makanan [2].

Kadmium merupakan logam berat yang sangat toksik setelah merkuri (Hg) [3]. Kadmium (Cd) sering digunakan sebagai bahan utama atau tambahan materi dalam industri (Setiawati, 2009), antara lain industri baterai nikel-kadmium (50-55% konsumsi dunia), pigmen (18-20%), bahan *coating* (8-12%), bahan *stabilizers* dalam industri plastik dan barang sintetis lain (6-10%). Sampai dengan akhir abad 20, 45 % total pencemaran global adalah logam kadmium [4]. Menurut [5], perairan di Indonesia telah tercemar kadmium, diantaranya, estuari sungai Digul dan laut Arafura pada tahun 2001 sebesar 0,001-0,002 ppm, perairan propinsi Banten pada tahun 2001 sebesar <0,001-0,001 ppm, dan sungai Kampar Riau pada tahun 2006 sebesar 0,035-0,046 ppm. Berdasarkan [6], Kandungan Cd tersebut melebihi baku mutu untuk biota laut yaitu 0,001 ppm.

Fitoplankton merupakan bagian awal rantai makanan bagi organisme perairan yang lebih tinggi yang mampu mengabsorpsi logam berat sampai konsentrasi tertentu tanpa menyebabkan keracunan pada organisme tersebut. Oleh karena itu suatu zat yang terakumulasi dalam fitoplankton akan terakumulasi juga pada organisme perairan yang lebih tinggi. Fitoplankton merupakan organisme bersel tunggal yang luas permukaannya lebih besar dibandingkan dengan rasio volumenya, sehingga memiliki kemampuan akumulasi yang tinggi dalam waktu yang relatif singkat terhadap zat organik maupun anorganik, yaitu berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam [7]. Bacillariophyceae (Diatom) merupakan salah satu kelas fitoplankton terpenting, dominan di perairan laut, dan tersebar luas diseluruh perairan laut, baik perairan pantai maupun laut lepas [8]. *Chaetoceros* merupakan genus terbesar dalam diatom laut dengan jumlah spesies sekitar 400 [1]. Jenis yang umum dijumpai di perairan Indonesia adalah *Chaetoceros calcitrans* karena memiliki kelimpahan tinggi dalam perairan, distribusi dan ketersediaannya sepanjang tahun. Selain itu diatom ini merupakan dasar dari rantai makanan, yaitu makanan penting bagi larva udang seperti *Panaeus monodon* dan *Panaeus vannamei* [9], larva kerang (kerang asari dan tiram), echinoderm (teripang dan landak laut), and crustacea (kepiting). Hal tersebut dikarenakan *Chaetoceros calcitrans* mengandung *poly unsaturated fatty acid* (PUFA) sebesar 33,7%, lebih besar dibanding jenis lain [10] dan omega 3 yang dapat meningkatkan antibodi yang sangat dibutuhkan oleh

larva udang vaname terutama pada fase-fase transisi seperti dari stadia nauplia ke stadia zoea, dimana pada fase ini sering dikenal dengan istilah sindrom zoea atau zoea lemah yaitu larva kelihatan lemah yang dapat mengakibatkan mortalitas hingga 90% [11]. *Chaetoceros calcitrans* mudah dipelihara dan memiliki pertumbuhan cepat dibanding jenis lain, selain itu juga memiliki sifat toleran terhadap suhu tinggi yaitu 40°C (*eurythermal*) dan salinitas antara 6-50 ‰ (*euryalin*) [9]. Oleh karena pengetahuan mengenai daya serap logam berat pada *Chaetoceros calcitrans* terbatas (minim) dan sangat diperlukan, maka dilakukan penelitian ini untuk mengetahui kemampuan akumulasi logam berat kadmium pada *Chaetoceros calcitrans*.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember-April 2013 di Laboratorium Pakan Alami Balai Budidaya Perairan Air Payau Situbondo. Analisa kandungan kadmium dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Analisa data dilakukan di Laboratorium Ekologi Jurusan Biologi FMIPA ITS.

### B. Kultur stok

Perbanyakan fitoplankton untuk stok dilakukan dengan cara mangkultur *Chaetoceros calcitrans* pada volume 5 liter. Botol kultur volume 5 liter diisi dengan air laut steril hingga 4 liter, kemudian ditambahkan starter *Chaetoceros calcitrans* sebanyak 1 liter (1/5 starter : 1/5 starter dan 4/5 air media kultur). Selanjutnya ditambahkan pupuk diatom, silikat, dan vitamin masing-masing 5 ml ke dalam botol kultur. Dilakukan inkubasi pada ruangan dengan suhu 24-25°C, pencahayaan terus menerus menggunakan 2 lampu TL 40 watt, dan diberi aerasi [9].

### C. Uji Penentuan Konsentrasi Sublethal

Kadmium yang telah dilarutkan dengan akuades dimasukkan ke dalam botol kultur hingga mencapai konsentrasi tiap botol yang berbeda, yaitu 0,5; 1; 2,5; dan 5 ppm. Kemudian dimasukkan kultur murni *Chaetoceros calcitrans* hingga kepadatan 1x10<sup>6</sup> sel/ml. Perhitungan volume inokulum yang diinginkan dengan rumus menurut [12] :

$$V_1 = \frac{N_2 \times V_2}{N_1}$$

Dimana :

V<sub>1</sub> = volume inokulum yang diinginkan

V<sub>2</sub> = volume media kultur

N<sub>1</sub> = kepadatan stok (sel/ml)

N<sub>2</sub> = kepadatan sel yang diinginkan

Dilakukan pemaparan dalam medium air laut dan kadmium selama 24 jam. Kematian *Chaetoceros calcitrans* dicatat dan

Tabel 1.

Komposisi pupuk diatom, vitamin, dan silikat	
Nutrien	Konsentrasi dalam larutan stok

Larutan stok 1: Pupuk diatom	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5 gr/L
KNO <sub>3</sub>	75 gr/L
Na <sub>2</sub> EDTA	5 gr/L
FeCl <sub>3</sub>	3,15 gr/L
Larutan stok 2: Vitamin	
Vitamin B <sub>1</sub>	100 mg/L
Vitamin B <sub>12</sub>	5 mg/L
Larutan stok 3: Silikat	
Silikat	30 gr/L

dicari LC<sub>50</sub> (konsentrasi kadmium yang menyebabkan kematian *Chaetoceros calcitrans* sebesar 50%) untuk menentukan konsentrasi sublethal [13]. Konsentrasi yang digunakan dalam uji sesungguhnya akan mengacu pada konsentrasi sublethal yaitu 0% dari LC<sub>50</sub> (kontrol) dan (2,5; 5; dan 10 % dari LC<sub>50</sub>).

### D. Uji Biokonsentrasi

Larutan uji yang telah dibuat dimasukkan ke dalam botol volume 5000 ml sebanyak 5000 ml. Pembuatan larutan uji dimulai dari konsentrasi 0% dari LC<sub>50</sub> (kontrol) dan 2,5, 5, dan 10 % dari LC<sub>50</sub>. Pada masing-masing media ditambahkan 5 ml pupuk diatom (tanpa Na<sub>2</sub>EDTA), silikat, dan vitamin. Setelah itu ditambahkan *Chaetoceros calcitrans* hingga kepadatan 1x10<sup>6</sup> sel/ml. Kemudian inkubasi pada ruang yang bersuhu 24-25°C dengan pencahayaan terus menerus menggunakan 2 lampu 40 watt dan diberi aerasi agar larutan di dalamnya menjadi homogen dan mendapat pencahayaan yang merata. Pengamatan pertumbuhan dilakukan dengan menghitung jumlah sel diatom setiap 24 jam sekali, baik pada kontrol dan perlakuan dengan menggunakan *Haemocytometer*.

### E. Analisa Kandungan Kadmium

Pengukuran kandungan kadmium dilakukan sebelum dan setelah proses pemaparan. Sampel air yang diambil untuk pengujian sebanyak 50 ml pada masing-masing botol kultur. Sedangkan sampel *Chaetoceros calcitrans* yang digunakan untuk pengujian diambil sebanyak 5 gram. Kemudian masing-masing sampel diujikan kadar Cd-nya dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) [14].

### F. Analisa Data

Kalkulasi faktor biokonsentrasi (BCFs) selama uptake period menggunakan rasio jumlah konsentrasi kadmium pada *Chaetoceros calcitrans* (mg/g) dan pada air media [14]. Berikut rumus perhitungan BCFs menurut [13] :

$$BCFs = \frac{\text{Zat dalam jaringan biota}}{\text{Zat dalam medium air}}$$

Untuk menentukan konsentrasi yang mampu membunuh 50% fitoplankton uji (LC<sub>50</sub>) digunakan analisa probit. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi pemaparan kadmium terhadap nilai BCFs (faktor biokonsentrasi) pada fitoplankton uji digunakan *one way* Anova.

III. HASIL DAN DISKUSI

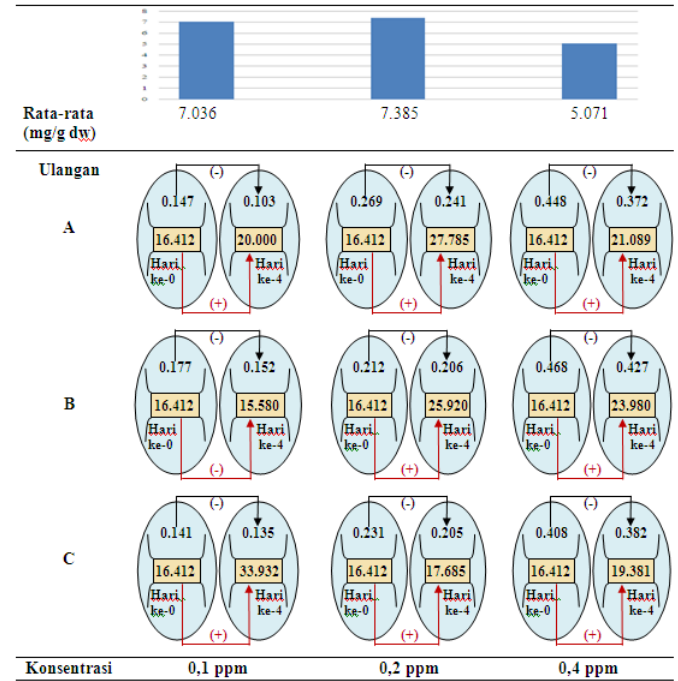
A. Akumulasi Logam Berat Kadmium (Cd)

Uji sesungguhnya (biokonsentrasi) menggunakan konsentrasi subletal yaitu di bawah 10% dari nilai LC<sub>50</sub>. Sehingga pada uji ini, rentang konsentrasi yang digunakan adalah 0% (kontrol), 2,5%, 5%, dan 10% dari nilai LC<sub>50</sub> yang telah didapat sebelumnya melalui uji lethal yaitu 0 ppm (kontrol), 0,1 ppm, 0,2 ppm, dan 0,4 ppm. Fitoplankton merupakan salah satu organisme yang dapat mengakumulasi logam berat, salah satunya yaitu kadmium [14]. Hasil pengukuran kadmium pada seluruh tubuh fitoplankton uji pada konsentrasi 0 ppm (kontrol) menunjukkan nilai 16,412 mg/g dw.

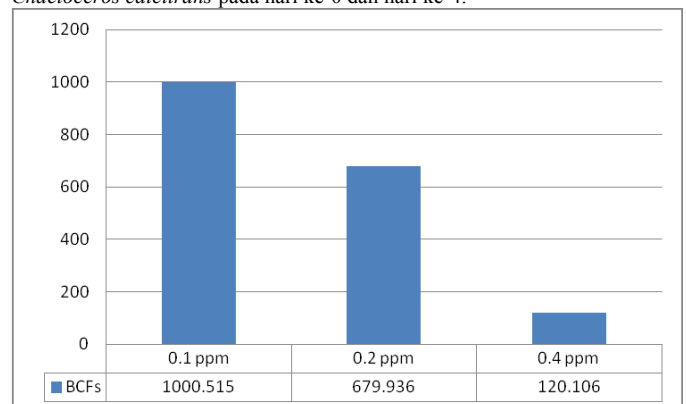
Gambar di atas menunjukkan hasil pengukuran kandungan kadmium dalam tubuh fitoplankton uji dan air pada tiga konsentrasi subletal. Angka (nominal) yang terdapat dalam gambar *Chaetoceros calcitrans* menunjukkan jumlah kadmium yang terdapat dalam tubuh fitoplankton tersebut (mg/g dw), sedangkan angka (nominal) yang terdapat pada gambar bulat berwarna biru menunjukkan jumlah kadmium dalam air (ppm). Hasil tersebut menunjukkan bahwa hampir pada semua ulangan disetiap konsentrasi terjadi peningkatan jumlah konsentrasi kadmium dalam tubuh *Chaetoceros calcitrans* seiring dengan lamanya periode pemaparan yang dilakukan dari hari ke-0 (sebelum pemaparan) sampai hari ke-4 (setelah pemaparan). Peningkatan jumlah kadmium ditunjukkan oleh panah merah dan tanda tambah atau plus (+). Seiring dengan peningkatan jumlah kadmium dalam tubuh fitoplankton uji, jumlah kadmium dalam air selama 96 jam pemaparan mengalami penurunan pada semua ulangan disetiap konsentrasinya. Pengurangan jumlah kadmium dalam air ditunjukkan oleh panah hitam dan tanda kurang atau minus (-). Peningkatan jumlah kadmium dalam tubuh fitoplankton uji dan pengurangan jumlah kadmium dalam air menunjukkan bahwa *Chaetoceros calcitrans* diduga melakukan penyerapan (akumulasi) logam berat kadmium dalam tubuhnya.

Menurut [15], penyerapan logam berat oleh fitoplankton dapat melalui dua jalur yaitu pengikatan pada dinding (adsorpsi) sel dan penyerapan logam ke dalam sel (absorpsi). [16] menyebutkan bahwa pada dinding sel terdapat protein dan polisakarida yang dapat mengikat ion logam, seperti amino, karboksilat, fosfat, sulfidril, sulfat, dan hidroksil. *Chaetoceros calcitrans* memiliki dinding sel yang tersusun atas lipid, *crysolaminarin* sebagai cadangan makanannya, dan silikat (90%). Adsorpsi logam yang terjadi pada *Chaetoceros calcitrans* cenderung sedikit atau bahkan tidak terjadi, seperti yang terlihat pada hasil penelitian [17] yaitu *Isochrysis galbana* lebih banyak mengadsorpsi kromium (Cr) dibanding *Chaetoceros calcitrans*, karena sel *Chaetoceros calcitrans* terdiri dari lapisan polisikat. Logam kadmium yang telah melewati dinding sel melalui penyerapan pasif maka akan masuk ke dalam sel melalui membran sel [17]. Membran sel terbentuk dari dua lapisan lipid (*lipid bilayer*) [18] dan bersifat sukar dilalui (*impermeable*) oleh ion-ion termasuk ion logam berat [19]. Masuknya logam berat melintasi membran sel dapat

terjadi jika logam tersebut bersifat lipofilik (mudah larut dalam lemak atau lipid).



Gambar 1. Jumlah logam berat kadmium dalam air dan yang diserap oleh *Chaetoceros calcitrans* pada hari ke-0 dan hari ke-4.



Gambar 2. Hasil uji biokonsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada *Chaetoceros calcitrans* selama 96 jam pemaparan.

Kadmium termasuk logam yang susah larut dalam lemak atau lipid [2]. Untuk dapat melintasi membran sel, ion logam berat tersebut mengalami proses difusi dipermudah (*facilitated diffusion*). Protein membran sel berikatan dengan ion logam berat sehingga ion logam berat tersebut dapat melintasi lapisan lipid bilayer membran sel [16]. Setelah ion logam berat melewati membran sel, enzim-enzim dan organel sel dalam sitoplasma menjadi tujuan ion tersebut [2].

Rerata jumlah kadmium yang diserap oleh *Chaetoceros calcitrans* pada konsentrasi 0,1; 0,2; dan 0,4 ppm menunjukkan angka (nominal) yang berbeda. Jumlah kadmium yang diserap oleh fitoplankton uji pada konsentrasi 0,1 dan 0,2 ppm tidak menunjukkan perbedaan yang besar yaitu sebesar 7,036 dan 7,385 mg/g dw. Namun jika dibandingkan dengan konsentrasi 0,4 ppm jumlah kadmium lebih kecil yaitu sebesar 5.071 mg/g dw. Dibanding dengan spesies Diatom lainnya, Diatom jenis ini dapat menyerap logam lebih banyak.

[14] melaporkan bahwa *Planothidium lanceolatum* dapat mengakumulasi kadmium dalam tubuhnya sebesar 2,21 dan 5,82 mg/g dw masing-masing pada konsentrasi 0,1 dan 0,2 ppm. Sedangkan menurut [20] *Chlorella vulgaris* hanya mampu mengakumulasi kadmium sebesar 0,194 mg/g dw pada konsentrasi 0,35 ppm.

#### B. Faktor Biokonsentrasi (BCFs)

Faktor biokonsentrasi (BCFs) merupakan parameter yang berguna untuk mengevaluasi potensi *Chaetoceros calcitrans* untuk mengakumulasi logam dan nilai ini dihitung berdasarkan berat kering [21].

Gambar diatas menunjukkan perbedaan nilai BCFs pada setiap konsentrasi kadmium dalam air, dimana nilai BCFs tertinggi sebesar 1000,515 pada konsentrasi 0,1 ppm dan terendah yaitu sebesar 120,106 pada konsentrasi 0,4 ppm. Nilai BCFs menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi kadmium dalam air, yaitu masing masing pada konsentrasi 0,1, 0,2, dan 0,4 ppm sebesar 1000,515; 679,936; dan 120,106. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan oleh [21] yaitu nilai BCFs pada *Cladophora fracta* (*filamentous green alga*) menurun ketika konsentrasi logam berat kadmium dalam air meningkat pada setiap waktu pemaparan, yaitu pada konsentrasi 0,5; 1; 2; 4 dan 8 mg/L memiliki nilai BCFs sebesar 1205, 1160, 838, 657 dan 510. Hasil yang sama juga telah dilaporkan oleh [21] yang menemukan bahwa BCFs *Eichornia crassipes* yang sangat tinggi untuk Cd pada konsentrasi eksternal (air) yang rendah dan menurun seiring meningkatnya konsentrasi eksternal (air). Hasil pada grafik di atas menunjukkan antara nilai BCFs dengan konsentrasi kadmium memiliki korelasi negatif. [22] melaporkan bahwa antara nilai BCFs kadmium dan konsentrasi pemaparan kadmium merupakan korelasi yang negatif, dimana nilai BCFs yang tinggi untuk kadmium adalah pada konsentrasi pemaparan yang rendah. Korelasi negatif antara BCFs dengan konsentrasi pemaparan kadmium bukan hanya terjadi pada fitoplankton (diatom) saja. Dalam penelitiannya, [22] juga menyebutkan bahwa *Algae, Insects, Arthropods, Mollusks, Salmonids, Centrarchids*, dan *Other fish* memiliki nilai BCFs yang semakin rendah pada konsentrasi pemaparan kadmium yang semakin tinggi.

*Chaetoceros calcitrans* merupakan akumulator logam berat kadmium karena dapat mengakumulasi logam berat kadmium sebesar 120,106-1000,515, meskipun tidak lebih baik dibanding *Cladophora fracta*. Menurut [23] akumulator yang baik memiliki kemampuan untuk mengkonsentrasikan unsur-unsur dalam jaringan tubuhnya, seperti BCF, jika memiliki nilai lebih dari 1000 (100 kali dibanding berat basah). Sedangkan menurut [24] ada 3 kategori nilai BCF sebagai berikut (1) nilai lebih besar dari 1000 masuk dalam kategori sifat akumulatif tinggi, (2) nilai BCF 100 s/d 1000 disebut sifat akumulatif sedang, dan (3) nilai BCF kurang dari 100 dikategorikan dalam kelompok sifat akumulatif rendah. Jika berdasarkan kategori tersebut maka hasil perhitungan nilai BCF untuk *Chaetoceros calcitrans* termasuk dalam kategori

sedang hingga tinggi.

Dalam penelitian ini digunakan analisis *one way* ANNOVA untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kadmium terhadap BCFs pada *Chaetoceros calcitrans*. Hasil analisis menunjukkan nilai *P-value* sebesar 0,617. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh (*P-value*  $\geq 0,05$ ) antara konsentrasi kadmium terhadap nilai BCFs pada *Chaetoceros calcitrans*.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil analisa menunjukkan bahwa *Chaetoceros calcitrans* dapat menyerap logam berat kadmium (Cd) dari media pertumbuhannya yaitu air laut yaitu sebesar 7,036; 7,385; dan 5,071 mg/g dw pada masing-masing konsentrasi 0,1, 0,2 dan 0,4 ppm. Sedangkan untuk kemampuan *Chaetoceros calcitrans* dalam mengakumulasi logam berat kadmium (Cd) ditunjukkan oleh nilai BCFs yang didapatkan pada masing masing konsentrasi tersebut sebesar 1000,515; 679,936; dan 120, 106. Berdasarkan nilai BCFs tersebut *Chaetoceros calcitrans* termasuk dalam kategori sifat akumulatif sedang hingga tinggi.

Antara konsentrasi pemaparan kadmium dan nilai BCFs memiliki korelasi negatif yaitu semakin rendah konsentrasi pemaparan kadmium maka semakin tinggi nilai BCFs pada *Chaetoceros calcitrans*. Analisa *one way* ANNOVA yang telah dilakukan antara konsentrasi kadmium dan nilai BCFs pada *Chaetoceros calcitrans* memiliki *P-value* sebesar 0,617. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh (*P-value*  $\geq 0,05$ ) antara konsentrasi kadmium terhadap nilai BCFs pada fitoplankton uji.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga artikel ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik. Tulisan ini tidak dapat terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari semua pihak, untuk ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Aunurohim, S.Si., DEA selaku dosen pembimbing yang telah memberi masukan dan dukungan bagi penulis, Ibu Maya Shovitri selaku Ketua Jurusan Biologi FMIPA ITS Surabaya dan dosen wali, Segenap dosen penguji pada sidang Tugas Akhir, dan Balai Budidaya Air Payau Situbondo atas ijin yang diberikan untuk melakukan penelitian di Laboratorium Pakan Alami.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Setiawati, "Uji Toksisitas Kadmium dan Timbal pada Mikroalga *Chaetoceros gracilis*," Skripsi, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor (2009).
- [2] T. Purbonegoro, Triyoni, "Pengaruh Logam Berat Kadmium (Cd) Terhadap Metabolisme dan Fotosintesis di Laut. Oseana," *Oseana*, Vol. XXXIII, No. 1,25-31 (2008).
- [3] D. W. Connel, and G. J. Miller, *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. UI Press: Jakarta (1995).
- [4] Awalina, "Bioakumulasi Ion Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Fitoplankton Pada Beberapa Perairan Situ Di Sekitar Kabupaten

- Bogor,” Tesis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Magister Kimia, Depok (2011).
- [5] Z. Arifin, R. Puspitasari, and N. Miyazaki, “Heavy metal contamination in Indonesia coastal marine ecosystems: A historical perspective,” *Coastal Marine Science*, Vol. 35 (2012) 227-233.
- [6] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut
- [7] Haryoto dan A. Wibowo, “Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium oleh Fitoplankton *Chlorella* sp Lingkungan Perairan Laut,” *Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi*, Vol. 5, No. 2 (2004) 89-103.
- [8] O.H. Arinardi, A.B. Sutomo, S.A Yuduf, Trimaningsih, E. Asnaryanti, dan S.H. Riyono, *Kisaran Kelimpahan dan Komposisi Plankton Predominan di Perairan Kawasan Timur Indonesia*. Pusat penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI: Jakarta (1997).
- [9] S. Cahyaningsih, A. N. M. Muchtar, S. J. Purnomo, I. Kususmaningrum, P. Slamet, F. Yulaeni, F. Ramadhan, dan Bagus, *Produksi Pakan Alami*. Departemen Kelautan dan Perikanan, Diektorat Jendral Perikanan Balai Budidaya Air Payau Situbondo: Situbondo (2009).
- [10] Boeing, *Larval Feed Alternatives*, Aquafauna Bio-Marine Inc: USA (2008).
- [11] S. Subaidah, *Pembenihan Udang Vaname*, Seksi Standarisasi dan Informasi Balai Budidaya Air Payau Situbondo: Situbondo (2009).
- [12] Kusrinah, “Penurunan Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) Air Laut Oleh *Chlorella* sp. Pada Skala Laboratorium,” Skripsi, Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro, Semarang (2001).
- [13] S. Mangkoedihardjo dan G. Samudro, *Ekotoksikologi Teknosfer*, Penerbit Guna Widya: Surabaya (2009).
- [14] K. O Sbihi, Cherifi, A. E. Gharmali, B. Oudra, and F. Aziz, “Accumulation and toxicological effects of cadmium, copper and zinc on the growth and photosynthesis of the freshwater diatom *Planothidium lanceolatum* (Brébisson) Lange-Bertalot: A laboratory study,” *Journal of Mater. Environmental Science*, Vol. 3 (2012) 497-506.
- [15] Moreno-Garrido, L. M. Lubian, and A. M. V. M. Soares, “Influence of Cellular Density on Determination of EC50 in Microalgal Growth Inhibition Tests,” *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol.47 (2000)112-116.
- [16] N. Das, R. Vimala, and P. Karthika, “Biosorption of Heavy Metal- An Overview,” *Indian Journal of Biotechnology*, Vol.7 (2008) 159-169.
- [17] Kumar, K. Kishore, M. Krishna Prasad, G.V.S. Sarma, and Cg. V.R. Murthy, “Biosorption Studies for Removal of Chromium Using Immobilized Marine Alga *Isochrysis galbana*,” *Indian Journal of Marine Sciences*, Vol. 35 (2006) 263-267.
- [18] N. A. Cambell, J. B. Reece, and L. G. Mitchell, *Biologi Edisi kKelima Jilid 1*, Erlangga: Jakarta (2002).
- [19] J.W. Kimball, *Biologi*, Erlangga: Jakarta (1998).
- [20] S. Ruangsomboon and L. Wongrat, “Bioaccumulation of cadmium in an experimental aquatic food chain involving phytoplankton (*Chlorella vulgaris*), zooplankton (*Moina macrocopa*), and the predatory catfish *Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*,” *Journal of Aquatic Toxicology*, Vol. 78 (2006) 15–20.
- [21] C. Lamai, M. Kruatrachue, P. Pokethitiyooka, E. Suchart Upathamb, and Varasaya Soonthornsarathoola, “Toxicity and Accumulation of Lead and Cadmium in the Filamentous Green Alga *Cladophora fracta* (O.F. Muller ex Vahl) Kutzing: A Laboratory Study,” *Journal of Sciens Asia* (2005) 121-127.
- [22] J. C. Mcgeer, Kevin, B. J. M. Skeaff, D. K. Deforest, S.h I. Brigham, W. J. Adams, And A. Green, “Inverse Relationship Between Bioconcentration Factor And Exposure Concentration For Metals: Implications For Hazard Assessment Of Metals In The Aquatic Environment,” *Journal of Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 22, No. 5 (2003) 1017–1037.
- [23] A. Zayed, S. Gowthman S, and Terry N, “Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants : I.Duckweed,” *Journal of Environmental Quality* 27 (1998) 715-21.
- [24] Amriani, B. Hendrarto, dan A. Hadiyanto, “Bioakumulasi Logam Berat Timbal (pb) dan Seng (zn) pada Kerang Darah (*Anadara granosa* L.) dan Kerang Bakau (*Polymesoda bengalensis* L.) di Perairan Teluk Kendari,” *Jurnal Ilmu Lingkungan Vol. 9* (2011) hal 45-50.