



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**BIOAKUMULASI ION LOGAM TIMBAL (Pb) DAN  
KADMIUM (Cd) DALAM FITOPLANKTON PADA  
BEBERAPA PERAIRAN SITU DI SEKITAR KABUPATEN  
BOGOR**

**TESIS**

**AWALINA**

**0906577210**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENEGETAHUAN ALAM**

**PROGRAM MAGISTER KIMIA**

**DEPOK**

**MEI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**BIOAKUMULASI ION LOGAM TIMBAL (Pb) DAN  
KADMIUM (Cd) DALAM FITOPLANKTON PADA  
BEBERAPA PERAIRAN SITU DI SEKITAR KABUPATEN  
BOGOR**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister**

**AWALINA**

**0906577210**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

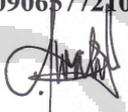
**PROGRAM MAGISTER KIMIA**

**DEPOK**

**MEI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Awalina  
NPM : 0906577210  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 19 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Awalina  
NPM : 0906577210  
Program Studi : Kimia  
Judul Tesis :

BIOAKUMULASI ION LOGAM TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd)  
DALAM FITOPLANKTON PADA BEBERAPA SITU DI SEKITAR  
KABUPATEN BOGOR

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Kimia pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Drs. Ridla Bakri MPhil, PhD (.....)  
Pembimbing II : Dr.Ir. Dede Irving Hartoto, APU (.....)  
Penguji I : Dr. Yoki Yulizar (.....)  
Penguji II : Dr. Helmiyati, MSi. (.....)  
Penguji III : Prof. Dr. Endang Asijati W.,M.Sc. (.....)  
Penguji IV : Prof. Dr. Soleh Kosela,M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 19 Juli 2011

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah Yang Maha Kuasa, karena atas segala berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“BIOAKUMULASI ION LOGAM TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd) DALAM FITOPLANKTON PADA BEBERAPA PERAIRAN SITU DI SEKITAR KABUPATEN BOGOR”**. Dalam menyelesaikan penulisan tesis ini, saya telah mencurahkan segala kemampuan, waktu, dan tenaga yang dimiliki untuk mendapatkan hasil yang baik. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Kimia pada Fakultas Matematika Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan ini perkenankan saya mengucapkan terima kasih kepada:

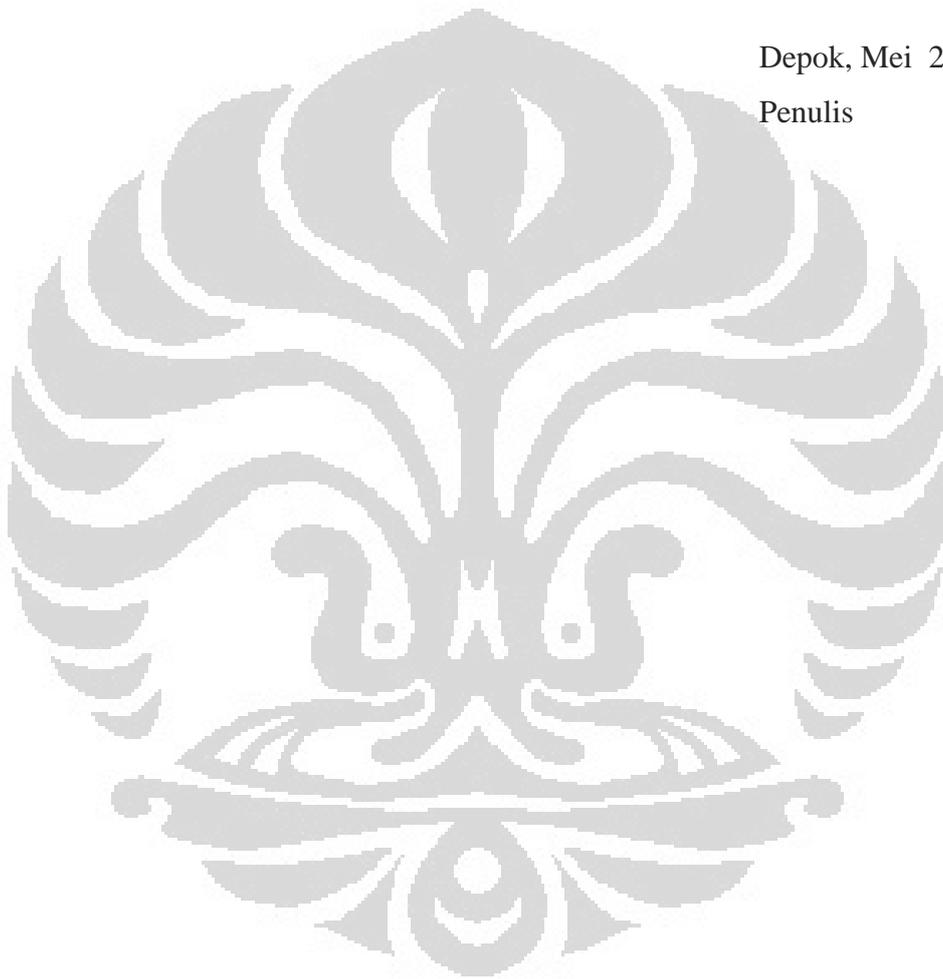
- (1). Drs. Ridla Bakri, MPhil, PhD selaku Pembimbing I dan Dr. Ir. Dede Irving Hartoto, APU selaku Pembimbing II
- (2) Dr. Tri Widyanto, MSi selaku Kepala Pusat Penelitian Limnologi (P2L)-LIPI
- (3) Ir. Fachmijany Sulawesty, selaku Kepala Bidang Dinamika Perairan P2L-LIPI
- (4) Tim Pengelola Program Beasiswa Pasca Sarjana Kementrian Riset dan Teknologi
- (5) Dr. Agustino Zulys selaku Pembimbing Akademis dan para pengajar di Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia
- (6) Para peneliti Puslit Limnologi LIPI terutama Drs. Tjandra Chrismadha, Mphil.
- (7) Para rekan mahasiswa program S2 Departemen Kimia FMIPA-UI angkatan 2009, rekan kerjaku : Mey R.Widoretno, AMd, Fajar Sumi Lestari AMd dan Deni Hadiansyah dan lainnya yang tidak disebutkan satu persatu di Laboratorium Planktonologi, Laboratorium Mikroskopi, Laboratorium Hidrokimia dan Laboratorium Pengendalian Pencemaran.
- (8) Suamiku Ir. Ika Atman Satya

(9) Anandaku Azalea Dyah MaySarah, Abdurrahman Adi Linus Satya dan Andhika Nurrisqy Fauzan

Akhir kata, saya berharap semoga Allah Yang Maha Kuasa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Mei 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Awalina

NPM : 09 06 577 210

Program Studi : Magister Kimia

Departemen : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non –exclusive Royalti Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**BIOAKUMULASI ION LOGAM TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd)  
DALAM FITOPLANKTON PADA BEBERAPA PERAIRAN SITU DI  
SEKITAR KABUPATEN BOGOR**

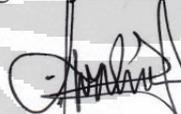
Dengan hak bebas *royalty* non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Cibinong

Tanggal : 13 Mei 2011

Yang menyatakan



(Awalina)

## ABSTRAK

Nama : Awalina  
Program Studi : Magister Kimia  
Judul : **Bioakumulasi Ion Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Fitoplankton pada Beberapa Perairan Situ di Sekitar Kabupaten Bogor**

Salah satu aspek penting untuk menyokong Program Ketahanan Pangan Nasional adalah tersedianya habitat perikanan darat (dalam hal ini perairan situ di sekitar Kabupaten Bogor) yang aman dari potensi pencemaran logam berat. Tujuan penelitian lapangan yang dilakukan pada Oktober dan November 2010 ini adalah untuk mengungkapkan tingkat bioakumulasi Pb dan Cd dalam komunitas fitoplankton dan deposisi kedua logam tersebut pada sedimen beserta hubungannya terhadap beberapa faktor kimia dan fisika perairan pada lima perairan situ sekitar Kabupaten Bogor (Situ Lido, Situ Tonjong, Situ Cibuntu, Situ Cikaret serta Situ Rawa Kalong). Disimpulkan bahwa kecuali untuk Cd di Situ Rawa Kalong, kedua logam cenderung untuk lebih banyak terbioakumulasi dalam fitoplankton dibandingkan terdeposisi dalam sedimen. Faktor jarak rerata sumber pencemar, jenis sumber pencemar dan jumlah sumber pencemar berpengaruh secara simultan terhadap pola bioakumulasi Pb dan Cd dalam fitoplankton yang hidup pada lima situ yang diamati. Pb sangat baik terakumulasi dalam fitoplankton pada Situ Cikaret dan Situ Lido yang sangat terkait erat dengan strata pengambilan contoh dan kesadahan. Situ Rawa Kalong memiliki jenis komunitas fitoplankton yang paling adaptif terhadap kondisi perairan dengan kandungan Cd berkadar tinggi baik dalam air maupun sedimennya serta pola bioakumulasinya terkait erat dengan Cd terlarut, Cd partikulat dan kuantitas Cd dalam sedimennya.

***Kata kunci:*** bioakumulasi, fitoplankton, logam berat, situ, Bogor

## ABSTRACT

Name : Awalina  
Study Program : Magister in Chemistry  
Title : **Bioaccumulation of Lead (Pb) and Cadmium (Cd) Metals Ions by Phytoplankton in Several Shallow Lakes at the Vicinity of Bogor Regency**

Safe habitat (among of them are shallow lakes at the vicinity of Bogor Regency) from heavy metals pollution is one of the most important aspects to inland water fisheries for supporting to the National Food Security Program. This field research were conducted in October and November 2010 and have aimed to reveal Pb and Cd bioaccumulation and sedimentary deposition level of both metals and its relation to aquatics chemical and physical behaviors of five shallow lakes at the vicinity of Bogor Regency (Situ Lido, Situ Tonjong, Situ Cibuntu, Situ Cikaret and Situ Rawa Kalong). Results show that except of Cd in Situ Rawa Kalong, both of metals were tend to be more bio accumulated in phytoplankton community than deposited in sediment. Average distance to sampling point, variety and quantity of pollutants sources were simultaneously affected to bioaccumulation pattern of phytoplankton which were living in the observed shallow lakes. Pb was significantly more bioaccumulated in phytoplankton of Situ Cikaret and Situ Lido, and seemingly related to sampling strata and total hardness. Situ Rawa Kalong possessed more adaptive phytoplankton community to high level of Cd both in sediment and water column and its pattern was correlated to dissolved Cd, Cd particulate and deposited Cd in sediment.

**Key words:** bioaccumulation, phytoplankton, metals, shallow lakes, Bogor.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah dan Ruang Lingkupnya	3
1.3. Jenis Penelitian dan Metode yang digunakan	4
1.4. Hipotesis	4
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Urgensi penelitian	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Perairan situ di sekitar Bogor dan kaitannya terhadap Program Ketahanan Pangan Nasional	6
2.2. Kedudukan Fitoplankton pada rantai makanan dalam sistem akuatik	9
2.3. Logam Timbal (Pb)	11
2.3.1. Karakteristik geokimia	11
2.3.2. Sumber antropogenik	12
2.3.3. Efek terhadap kesehatan	13
2.4. Logam Kadmium (Cd)	15
2.4.1. Karakteristik geokimia	15
2.4.2. Sumber antropogenik	18
2.4.3. Efek terhadap kesehatan	19
2.5. Parameter Kimia-Fisika Perairan	19
2.6. Kepadatan total di perairan	25
2.7. Klorofil-a di perairan	25
2.8. Bioakumulasi logam oleh fitoplankton	26
2.9. Prinsip kerja <i>Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer</i>	30
2.10. Prinsip kerja Spektrofotometer ( <i>UV-Vis</i> )	33

3.	METODE PENELITIAN	37
3.1.	Deskripsi lima lokasi pengambilan contoh dan waktu observasi	37
3.2.	Bahan Kimia dan Bahan Aus	45
3.3.	Instrumen Analisis	46
3.3.1.	Instrumen pengukuran di lapangan	47
3.3.2.	Instrumen pendukung dalam preparasi	47
3.3.3.	Instrumen untuk determinasi logam dan klorofil a	49
3.4.	Pengambilan contoh dari kelima situ	51
3.4.1.	Pengukuran parameter Kimia- Fisika perairan	51
3.4.2.	Pengambilan contoh air	51
3.4.3.	Pengambilan contoh sedimen	52
3.4.4.	Pengambilan contoh komunitas fitoplankton	52
3.5.	Analisis contoh di laboratorium	52
3.5.1.	Preparasi contoh air untuk analisis logam	53
3.5.2.	Preparasi contoh sedimen	54
3.5.3.	Preparasi contoh fitoplankton	55
3.5.4.	Preparasi larutan deret standar Pb dan Cd	55
3.5.5.	Analisis logam Pb dan Cd dengan Gr AAS	57
3.5.6.	Analisis Klorofil-a	57
3.5.7.	Analisis kesadahan total	58
3.5.8.	Identifikasi dan Penentuan kelimpahan fitoplankton	59
3.6.	Analisis data hasil penelitian	60
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	62
4.1.	Kimia Fisika perairan pada ke lima situ yang diamati	62
4.2.	Pola distribusi Klorofil-a	69
4.3.	Karakteristik kesadahan total	71
4.4.	Pola distribusi Total Pb menurut strata	72
4.5.	Pola distribusi Pb terlarut di perairan menurut strata	75
4.6.	Pola distribusi Pb partikulat di perairan menurut strata	78
4.7.	Pola distribusi Total Cd menurut strata	80
4.8.	Pola distribusi Cd terlarut menurut strata	82
4.9.	Pola distribusi Cd partikulat menurut strata	85
4.10.	Pola distribusi Pb dan Cd dalam sedimen	87
4.11.	Pola kelimpahan fitoplankton	89
4.12.	Pola distribusi Pb dan Cd dalam biomassa komunitas fitoplankton	97
4.13.	Pola keterkaitan bioakumulasi Pb dan Cd dalam biomasa fitoplankton terhadap faktor kimia dan fisika perairan	109
5	KESIMPULAN DAN SARAN	118
6	DAFTAR REFERENSI	120

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Metode strategi penyelesaian masalah dan hasil observasi di lapangan	4
Gambar 2.1. Model skematik <i>uptake</i> ion logam melalui membran sel fitoplankton	28
Gambar 2.2. Model skematik variabel larutan di luar dan di dalam sel	29
Gambar 3.1. Situ Lido dengan lokasi pengambilan contoh	38
Gambar 3.2. Situ Tonjong dengan lokasi pengambilan contoh	39
Gambar 3.3. Situ Cibuntu dengan lokasi pengambilan contoh	41
Gambar 3.4. Situ Cikaret dengan lokasi pengambilan contoh	42
Gambar 3.5. Situ Rawa Kalong dengan lokasi pengambilan contoh	44
Gambar 3.6. Kurva kalibrasi Pb sebagai basis pengukuran kedua analit	56
Gambar 3.7. Kurva kalibrasi Cd sebagai basis pengukuran kedua analit	57
Gambar 4.1. Skema siklus logam runtu dalam perairan danau menurut Buffle and De Vitre (1994)	62
Gambar 4.2. jarak rerata titik pengambilan contoh terhadap sumber pencemar	66
Gambar 4.3. Distribusi klorofil-a menurut kedalaman pengambilan sampel	71
Gambar 4.4. Kesadahan total di lima perairan situ sekitar Kabupaten Bogor	73
Gambar 4.5. Distribusi Pb total menurut kedalaman pengambilan contoh	75

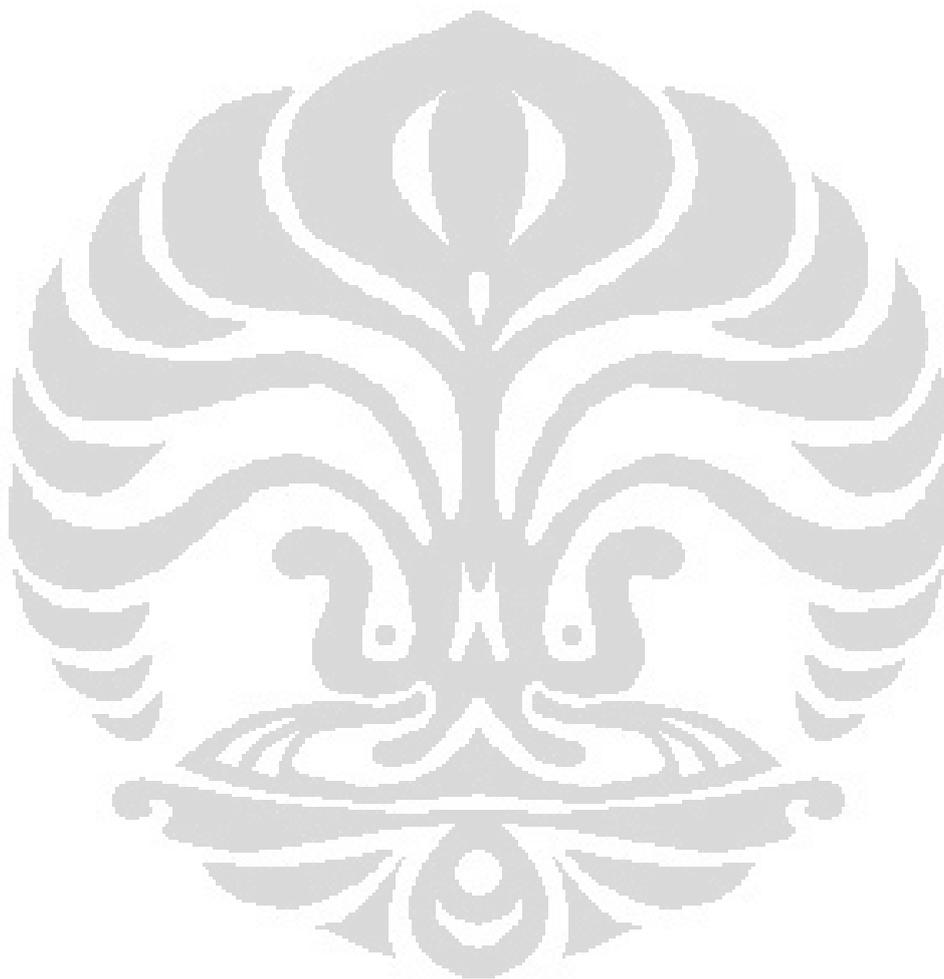
	Halaman
Gambar 4.6. Distribusi Pb terlarut menurut kedalaman pengambilan contoh	77
Gambar 4.7. Distribusi Pb partikulat menurut kedalaman pengambilan contoh	79
Gambar 4.8. Distribusi Cd total menurut kedalaman pengambilan contoh	81
Gambar 4.9. Distribusi Cd terlarut menurut kedalaman pengambilan contoh	84
Gambar 4.10. Distribusi Cd partikulat menurut kedalaman pengambilan contoh	85
Gambar 4.11. Distribusi Pb dan Cd dalam sedimen di lima perairan situ Kabupaten Bogor	88
Gambar 4.12. Jenis fitoplankton yang dominan pada pengambilan contoh yang pertama	90
Gambar 4.13. Fitoplankton <i>Cyanophyta</i> di Situ Rawa Kalong	94
Gambar 4.14. Fitoplankton <i>Chlorophyta</i> di Situ Rawa Kalong pada pengambilan contoh yang kedua	94
Gambar 4.15. Pb dalam fitoplankton pada kelima situ yang diamati menurut kedalaman	97
Gambar 4.16 (a). Hubungan bioakumulasi Pb terhadap jarak rerata <i>Point Sources</i> (PS)	101
Gambar 4.16 (b). Hubungan bioakumulasi Pb terhadap jarak rerata <i>Non Point Sources</i> (NPS)	102
Gambar 4.16 (c). Hubungan bioakumulasi Pb terhadap jarak rerata berbagai sumber pencemar ( <i>Total Point Sources</i> =TPS)	103

	Halaman
Gambar 4.17. Cd dalam fitoplankton pada kelima situ yang diamati menurut kedalaman	105
Gambar 4.18 (a). Hubungan bioakumulasi Cd terhadap jarak rerata <i>Point Sources</i> (PS)	108
Gambar 4.18 (b). Hubungan bioakumulasi Cd terhadap jarak rerata <i>Non Point Sources</i> (NPS)	109
Gambar 4.18 (c). Hubungan bioakumulasi Cd terhadap jarak rerata berbagai sumber pencemar ( <i>Total Point Sources</i> =TPS)	111
Gambar 4.19 Hasil analisis PCA keterkaitan Pb dengan faktor kimia fisika perairan dimana a= permukaan ; b= kedalaman <i>Secchi</i> ; c= kedalaman maksimum	116
Gambar 4.20. Hasil analisis PCA keterkaitan Cd dengan faktor kimia fisika perairan dimana a= permukaan ; b= kedalaman <i>Secchi</i> ; c= kedalaman maksimum	117

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Daftar situ dan waduk di Kabupaten Bogor	9
Tabel 2.2. Limit deteksi dan kisaran konsentrasi optimum pada determinasi logam dengan GrAAS	33
Tabel 3.1. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Lido	38
Tabel 3.2. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Tonjong	40
Tabel 3.3. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Cibuntu	42
Tabel 3.4. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Cikaret	43
Tabel 3.5. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Rawa Kalong	45
Tabel 3.6. Instrumen untuk observasi di lapangan	47
Tabel 3.7. Instrumen untuk preparasi contoh di laboratorium	48
Tabel 3.8. Kondisi analitik pada analisis Cd dengan GrAAS	49
Tabel 3.9. Kondisi analitik pada analisis Pb dengan GrAAS	50
Tabel 4.1. Data rerata sifat kimia dan fisika perairan pada lima perairan situ di Kabupaten Bogor	64
Tabel 4.2 (a). Kelimpahan komunitas fitoplankton pada lima perairan situ di Kabupaten Bogor saat pengambilan contoh yang pertama	92
Tabel 4.2 (b). Kelimpahan komunitas fitoplankton pada lima perairan situ di Kabupaten Bogor saat pengambilan contoh yang pertama (lanjutan)	93
Tabel 4.3 (a). Kelimpahan komunitas fitoplankton pada kelima situ di Kabupaten Bogor saat pengambilan contoh yang kedua	95
Tabel 4.3 (b). Kelimpahan komunitas fitoplankton pada kelima situ di Kabupaten Bogor saat pengambilan contoh yang kedua (lanjutan)	96

	Halaman
Tabel 4.4. Rerata nilai <i>Bioaccumulation Factor</i> (BAF) pada komunitas plankton dan <i>Accumulation Factor</i> ( $A_{s-w}$ ) logam Pb pada lima perairan situ	100
Tabel 4.5. Rerata nilai <i>Bioaccumulation Factor</i> (BAF) dan <i>Accumulation Factor</i> ( $A_{s-w}$ ) logam Cd pada lima perairan situ	106



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Meningkatnya populasi penduduk pada abad ke 21 ini, menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan akan sandang, pangan dan papan. Hal ini memicu meningkatnya berbagai industri, yang tentunya berkaitan pula dengan masalah adanya berbagai limbah dan pencemaran, baik udara maupun air. Pencemaran perairan, terutama fenomena pencemaran logam berat pada sistem akuatik, seharusnya mendapat perhatian yang lebih intensif, karena air banyak digunakan orang untuk dikonsumsi, pembudidayaan ikan dan lain sebagainya.

Perhatian lebih intensif selayaknya harus diarahkan pada fenomena pencemaran logam berat pada sistem akuatik. Beberapa logam mengalami transformasi menjadi senyawa logam persisten yang sangat toksik. Senyawa ini kemudian dapat dibioakumulasikan dalam organisme, lalu dibioamagnifikasikan dalam rantai makanan dan akhirnya mengancam kesehatan manusia. Berbagai efek merugikan antara lain perkembangan embrio yang abnormal, kegagalan dalam regenerasi sel dan kasus *immunodeficiency* telah sering terjadi akibat adanya paparan pencemaran logam berat pada sistem perairan. Pada saat ini penelitian terkait pemantauan dan pencegahan polusi logam berat sedang menjadi salah satu *hot topic* dalam penelitian di bidang lingkungan (Zhou *et al*, 2008).

Logam berat dalam sistem akuatik secara alamiah dihasilkan melalui proses *slow leaching* dari kompartemen tanah atau batuan, biasanya pada kadar yang relatif rendah dan tidak membahayakan kesehatan manusia. Tetapi perkembangan industri dan agroindustri mempercepat laju peningkatan pencemaran logam berat di lingkungan. Pencemaran logam berat pada sistem perairan selalu ditunjukkan dengan adanya tingkatan kandungan yang tinggi beberapa logam berat seperti merkuri (Hg), krom (Cr), timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu), seng (Zn),

nikel (Ni), dan sebagainya dalam sistem perairan (Huang *et al.*, 2002; Liang *et al.*, 2004).

Kegiatan antropogenik seperti pembuangan limbah cair yang mengandung berbagai jenis logam berat menyumbang dalam porsi besar pada kasus pencemaran logam berat di perairan. Limbah cair tersebut terutama berasal dari pabrik plastik, *electroplating*, pertambangan, pabrik kertas, pabrik cat, metalurgi, dan sebagainya. Meskipun beberapa senyawa logam tersebut dapat saja terserap pada partikel tersuspensi dan sedimen, mereka ini tetap berpotensi sangat besar untuk terlepas kembali ke perairan pada kondisi tertentu yang cocok (misalnya pada nilai pH tertentu) sehingga menyebabkan bahaya kontaminasi logam berat di sistem perairan (Wu *et al.*, 2006). Pb dan Cd merupakan logam toksik yang keberadaannya dalam rantai makanan harus selalu diwaspadai karena kemampuan kedua logam ini untuk berikatan dengan senyawa sulfur dan nitrogen. Selain itu, gugus karboksilat dan gugus amino dalam protein diketahui sangat mudah berikatan dengan kedua logam ini sehingga mengganggu fungsi enzimatik dan proses regenerasi seluler (Manahan, 2001; Mason, 2002, Stumm and Morgan, 1996; Wetzel, 2001).

Di Indonesia, ketersediaan produk perikanan yang aman untuk dikonsumsi masyarakat merupakan salah satu aspek penting untuk mendukung Program Ketahanan Pangan Nasional. Terkait dengan aksesibilitas masyarakat terhadap ketersediaan bahan pangan berupa ikan, maka perairan situ di sekitar Kabupaten Bogor sering dimanfaatkan masyarakat setempat untuk memenuhi kebutuhan protein harian mereka. Seiring dengan perkembangan masyarakat urban yang makin pesat, lokasi perairan situ telah menjadi lokasi yang sangat rentan dengan potensi terpapar logam toksik seperti timbal (*Plumbum*, Pb) dan kadmium (*Cadmium*, Cd). Sebagian besar perairan situ di sekitar Kabupaten Bogor berdekatan dengan pemukiman padat penduduk, pabrik berbasis bahan kimia, tempat penimbunan/pembakaran sampah, tepi jalan raya berlalu lintas padat, pertokoan, bengkel, pasar tradisional, dan lainnya.

Pada tahun 2009 penelitian tentang potensi biomagnifikasi Pb dan Cd di perairan Situ Rawa Kalong, Situ Lido dan Situ Tonjong disimpulkan bahwa komunitas

fitoplankton yang hidup di tiga perairan situ tersebut mengakumulasi Pb dan Cd dalam biomasnya (Awalina-Satya, 2009). Sedimen di perairan Situ Rawa Kalong menjadi tempat deposisi Pb dan Cd dengan level tertinggi diantara tiga situ yang diobservasi. (Awalina-Satya *et al.* 2010) melaporkan bahwa kandungan Cd pada tiga perairan situ yang diamati juga sudah berada di atas ambang batas aman ( $>0.017 \mu\text{gCd/L}$ ) untuk menunjang kehidupan biota akuatik, sedangkan Pb masih dalam batas bawah ( $< 10 \mu\text{gPb/L}$ ) menurut *Canadian water quality standard* (1999). Dilaporkan pula oleh Chrismadha *et al.* (2010) bahwa dalam uji pengaruh Pb terhadap rantai makanan yang disederhanakan dalam skala *mesocosm* berlokasi di P2L-LIPI Cibinong, ternyata Pb mampu menyebabkan terjadinya agresifitas yang mengarah pada kanibalisme pada ikan betutu (*Oxyeleotris marmorata*).

## 1.2. Perumusan Masalah dan Ruang Lingkupnya

Penelitian tentang polusi logam berat di perairan (Huang *et al.*, 2002, dan Liang *et al.*, 2004), sumber-sumber pencemaran logam berat di perairan (Wu *et al.*, 2006) dan kandungan logam Pb dan Cd di perairan situ Rawa Kalong, Tonjong, dan Lido (Awalina-Satya, 2009 dan Awalina-Satya *et al.*, 2010), menunjukkan bahwa masih sangat diperlukan penelitian lanjutan khususnya tentang level kontaminan logam berat di perairan situ, penelitian tentang kontaminasi dan bioakumulasi logam berat Pb dan Cd di perairan situ tempat hidup ikan.

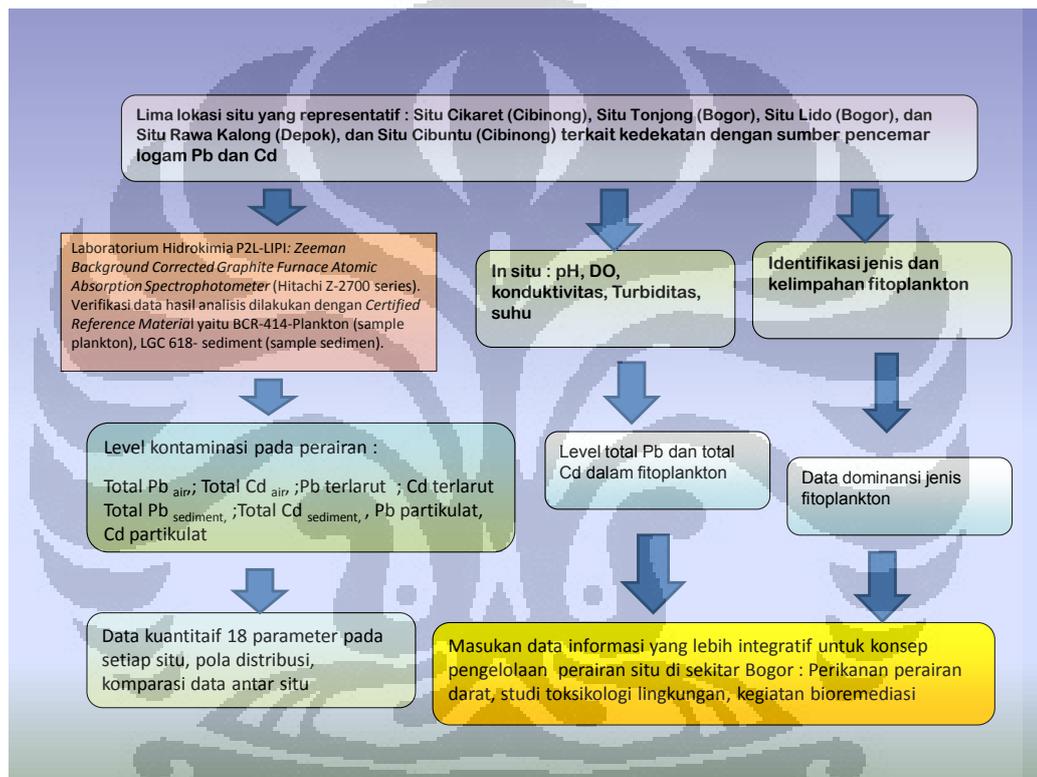
Penelitian tentang pencemaran logam berat dan bioakumulasinya di perairan habitat ikan sudah saatnya mendapat perhatian khusus, karena manusia sebagai konsumen tertinggi dalam rantai makanan dapat mengalami dampak yang sangat memprihatinkan khususnya dalam hal kesehatan.

Ruang lingkup penelitian ini meliputi determinasi level logam Pb dan Cd dalam contoh air, biomasa fitoplankton, sedimen dan pengukuran parameter kimia dan fisika perairan pada perairan situ sekitar Kabupaten Bogor (Situ Lido, Situ Tonjong, Situ Cibuntu, Situ Cikaret dan Situ Rawa Kalong). Penelitian ini dilakukan karena di sekitar situ tersebut terdapat pemukiman padat penduduk, dekat dengan jalan raya, dan banyak terdapat kegiatan usaha atau industri (misalnya pengelasan tabung, *electroplating*, industri plastik, industri makanan,

industri sabun, penimbunan dan pembakaran sampah). Situ tersebut juga digunakan untuk pembudidayaan ikan dan keramba apung. Informasi yang diperoleh akan menjadi salah satu referensi ilmiah terkait bioakumulasi Pb dan Cd serta pola distribusinya dalam perairan di lima situ yang diobservasi.

### 1.3. Jenis Penelitian dan Metode yang digunakan

Jenis penelitian adalah penelitian lapangan dengan strategi penyelesaian masalah seperti pada Gambar 1 sebagai berikut



Gambar 1.1. Metode strategi penyelesaian masalah dari hasil observasi di lapangan

### 1.4. Hipotesis

Level bioakumulasi Pb dan Cd dalam komunitas fitoplankton terkait erat dengan jarak lokasi perairan situ (habitat) terhadap *pollutant sources* (*point* dan *non point*), kedalaman strata pengambilan contoh, bentuk atau spesies kedua logam tersebut (partikulat, terlarut dan total) serta parameter kimia dan fisika perairan lainnya.

### **1.5. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengungkapkan pola keterkaitan antara level bioakumulasi Pb dan Cd dalam komunitas fitoplankton pada perairan situ (Situ Lido, Situ Tonjong, Situ Cibuntu, Situ Cikaret dan Situ Rawa Kalong) dengan : 1) jarak lokasi perairan situ (habitat) terhadap *pollutant sources* (*point* dan *non point*); 2) kedalaman strata pengambilan contoh di perairan (permukaan, kedalaman *Secchi* dan kedalaman maksimum); 3) bentuk atau spesies kedua logam tersebut (partikulat, terlarut dan total); 4) level deposisi kedua logam tersebut dalam sedimen serta 5) parameter kimia dan fisika perairan lainnya.

### **1.6. Urgensi Penelitian**

Informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan untuk menambah referensi dasar dalam studi limnologi perairan darat tropis khususnya perairan dangkal, toksikologi lingkungan, kimia lingkungan, bioremediasi perairan dan acuan ilmiah dalam penyusunan konsep pengelolaan perairan situ.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Perairan situ di sekitar Kabupaten Bogor dan kaitannya terhadap Program Ketahanan Nasional**

Pemerintah Indonesia telah mengusulkan dimasukkannya peranan sektor perikanan dalam *draft* deklarasi Konferensi Tingkat Tinggi Ketahanan Pangan Dunia (*World Summit on Food Security, WSFS*) yang diselenggarakan oleh *Food Agriculture Organization* (FAO). Usulan tersebut berdasarkan pada pemikiran bahwa sektor perikanan dapat menjadi salah satu pilar penting dalam upaya meningkatkan ketahanan pangan dunia. Usulan ini menekankan pemenuhan gizi masyarakat yang berasal dari sektor perikanan baik perikanan darat dan laut (<http://www.republika.co.id/berita/83752/RI>).

Konsep ketahanan pangan juga terkait erat dengan *Millenium Development Goals* (MDGs) khususnya mengenai pengentasan kemiskinan dan kelaparan. Berdasarkan data statistik tahun 2005-2008, total produksi perikanan Indonesia (meliputi perairan laut dan perairan darat) mengalami kenaikan rerata pertahun 8,24 % yaitu dari 6,87 juta ton pada tahun 2005 menjadi 8,71 juta ton pada tahun 2008. Khusus untuk produksi perikanan darat kenaikan produksi pertahun (2005-2009) mencapai 11,95 %. Sebagian besar produksi perikanan tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Penyediaan ikan untuk konsumsi meningkat rerata pertahun 7,78 % dari 23,95 kg/kapita/tahun pada tahun 2005 menjadi 29,98 kg/kapita/tahun pada tahun 2008. Diharapkan bahwa penyediaan ikan untuk konsumsi tersebut nantinya akan dapat sejajar dengan beberapa negara di Asia lainnya, misalnya Jepang (mencapai 110 kg/kapita/tahun), kemudian Korea Selatan (85 kg/kapita/tahun) dan untuk kawasan negara ASEAN adalah Thailand (35 kg/kapita/tahun) (<http://www.republika.co.id/berita/83752/RI>; <http://www.perikanan-budidaya.kkp.go.id>; PER.MEN 06/MEN/2010). Ikan air tawar Jawa Barat menjadi unggulan pertama bagi perekonomian masyarakat, karena secara nasional lebih dari 30 % konsumsi ikan nasional di pasok oleh Jawa Barat. Produksi ikan air tawar Jawa Barat sebesar 620.000 ton pada tahun 2009 dimana

60 % dibudidayakan di kolam, sawah, maupun danau (Ginjar, 2011). Kabupaten Bogor pada tahun 2009 merupakan salah satu sentra untuk produksi ikan lele (18.313 ton) dan gurame (1.946 ton) di Propinsi Jawa Barat (<http://www.perikanan-budidaya-kkp.go.id>).

Sejalan dengan program tersebut di atas, telah dibuat pula Peraturan Presiden Republik Indonesia No 22 tahun 2009 yang menyangkut upaya intensif penganeekaragam konsumsi pangan dimana program ini merupakan dasar dari pemantapan Program Ketahanan Pangan Nasional. Hal itu ditujukan untuk peningkatan kualitas Sumber Daya Manusia (SDM) dan pelestarian Sumber Daya Alam (SDA). Sayangnya upaya penganeekaragaman pangan tersebut belum berlangsung dengan baik, dimana salah satu indikasi kurang berhasilannya adalah fakta bahwa produk pangan lokal belum optimum dalam mendukung upaya penganeekaragam pangan. Oleh sebab itu perlu dilakukan percepatan penganeekaragaman konsumsi bahan pangan yang berbasis sumberdaya lokal. (<http://bkpd.jabarprov.go.id/data/arsip/SK-DK.pdf>)

Pemerintah daerah Kabupaten Bogor sebenarnya sudah memiliki program kerja yang sinkron dengan agenda program nasional tersebut di atas. Hal ini dibuktikan dengan adanya Peraturan Daerah Kabupaten Bogor No 19 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bogor tahun 2005-2025 yang menyangkut hal-hal terkait pengelolaan kawasan perikanan yaitu: (a) menjaga kelestarian sumberdaya air terhadap pencemaran limbah industri maupun limbah lainnya (b) pengendalian melalui sarana kualitas air dan mempertahankan habitat alami ikan dan (c) peningkatan produksi dengan memperbaiki dan meningkatkan sarana dan prasarana perikanan.

(c) tersebut di atas didukung oleh pemerintah Kabupaten Bogor dengan melakukan pengembangan waduk, dam dan situ dengan mempertimbangkan beberapa hal yaitu: (1) daya dukung sumberdaya air; (2) kekhasan dan aspirasi daerah serta masyarakat setempat; (3) kemampuan pembiayaan dan (4) kelestarian keanekaragaman hayati dalam sumberdaya air. Perairan situ dari generasi ke generasi telah menjadi salah satu pilihan masyarakat Kabupaten Bogor dan sekitarnya untuk mengembangkan budidaya perikanan darat dalam rangka

memenuhi gizi harian mereka. Situ merupakan salah satu jenis lahan basah yang memiliki karakteristik sebagai perairan tergenang (*limnetic*) dan berair tawar. Situ dapat terbentuk secara alami karena kondisi topografik maupun buatan yaitu ketika terbentuk suatu cekungan atau basin yang memungkinkan terperangkapnya sejumlah massa air. Sumber air situ dapat berasal dari mata air yang terdapat di dalamnya atau dari masukan air sungai dan atau limpasan air permukaan/hujan (*surface run off*). Keberadaan air dalam situ dapat bersifat permanen ataupun sementara. Kabupaten Bogor dilaporkan memiliki 122 buah situ. Fungsi umum perairan situ adalah sebagai pemasok air ke dalam *aquifer* yang digunakan untuk resapan air tanah/*recharging zone*, pengendali banjir, membantu memperbaiki kualitas air permukaan (melalui proses kimia, fisika dan biologis yang berlangsung di dalamnya), irigasi, rekreasi, *reservoir*, mengatur iklim mikro, perikanan, mendukung keanekaragaman hayati perairan, dan sebagainya. Oleh karena manfaat yang banyak tersebut maka pengelolaan dan konservasi perairan situ sangat penting untuk dilakukan (Suryadiputra, dalam Ubaidillah *et al*, 1998).

Meskipun kuantitas perairan situ sudah cenderung berkurang pada akhir-akhir ini, tetapi upaya restorasi dan pengelolaan perairan situ telah dilakukan oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Bogor. Saat ini seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1, tercatat ada 10 buah situ dan 2 buah waduk yang menjadi fokus perhatian pemerintah daerah Kabupaten Bogor (Peraturan Daerah Kabupaten Bogor No 19 Tahun 2008). Dari sepuluh situ dalam Tabel 2. 1 tersebut, ternyata hanya situ nomor 1 sampai nomor ke 6 yang sering dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk kegiatan perikanan seperti memancing dan memasang keramba jaring apung ataupun karamba apung. Di sisi lain situ nomor 7 sampai 10 dan kedua waduk diperuntukkan sebagai sumber air bersih.

Tabel 2.1. Daftar situ dan waduk di Kabupaten Bogor

No	Keterangan	Lokasi (Kecamatan)
1	Situ Tonjong	Bojong Gede
2	Situ Kemuning	Bojong Gede
3	Situ Cikaret	Cibinong
4	Situ Ciriung	Cibinong
5	Situ Rancabungur	Rancabungur
6	Situ Gunung Putri	Gunung Putri
7	Situ Cisarua	Cisarua
8	Situ Cariu	Cariu
9	Situ Jonggol	Jonggol
10	Situ Megamendung	Megamendung
11	Waduk Cijurei	Sukamakmur
12	Waduk Cidurian	Nanggung

Sumber: Peraturan Daerah Kabupaten Bogor No 19 Tahun 2008 Pasal 62

Penelitian yang dilakukan tahun 2009 oleh Awalina-Satya, *et al.* (2009); Awalina-Satya, *et al.* (2010) kandungan Pb dalam perairan Situ Rawa Kalong, Situ Lido dan Situ Tonjong cukup tinggi namun masih berada di bawah ambang batas menurut *Canadian Water Quality Standard* (10  $\mu\text{gPb/L}$ ). Sebaliknya kandungan Cd justru sudah melampaui ambang batas (0,017  $\mu\text{gCd/L}$ ). Mengingat penelitian tersebut diobservasi pada tahun 2009, sangatlah menarik untuk mengetahui status terkini terkait Pb dan Cd dalam sistem akuatik situ di sekitar Kabupaten Bogor. Bagaimanapun sebuah habitat yang aman dari bahaya bioakumulasi logam berat sangat dibutuhkan untuk menunjang Program Ketahanan Pangan Nasional. Untuk itu, upaya penilaian terhadap perairan situ terkait bioakumulasi logam Pb dan Cd sangat penting untuk dilakukan.

## 2.2. Kedudukan Fitoplankton pada rantai makanan dalam sistem akuatik perairan darat

Wetzel (2001) menyebutkan bahwa plankton terdiri atas fitoplankton dan zooplankton. Fitoplankton adalah tumbuhan mikroskopis yang memiliki sedikit atau tanpa resistensi terhadap arus air dan hidup bebas mengambang dan tersuspensi dalam air. Fitoplankton disebut juga alga mikroskopik yang dapat saja berbentuk uni seluler, koloni atau *filamentous* (seperti benang). Kebanyakan mereka berfotosintesis dan dimangsa oleh zooplankton (binatang mikroskopik, bagian dari organisme plankton) dan organisme akuatik lainnya. Zooplankton di perairan tawar pada umumnya terdiri atas *protozoa*, *rotifer*, *cladoceran* dan *copepod*.

Bellinger and Sigeo (2010), Zou *et al.* (2008) dan Wetzel (2001) mengemukakan bahwa fitoplankton telah banyak digunakan sebagai bioindikator untuk kualitas perairan. Beberapa spesies mampu berkembang biak dengan subur pada perairan eutrofik sementara ada pula yang sangat sensitif terhadap limbah organik ataupun anorganik. Beberapa spesies dapat menimbulkan marak alga (*algal bloom*) yang berbahaya, kadang-kadang menimbulkan rasa dan bau yang ofensif atau kondisi toksik atau anoksik yang menyebabkan sakit atau kematian pada hewan dan manusia. Bahkan beberapa komunitas fitoplankton dapat digunakan untuk penilaian terhadap kualitas air.

Pola umum suksesi musiman fitoplankton diduga kuat terkait dengan perubahan yang terjadi di lingkungan akuatik (Wetzel, 2001). Menurut Bellinger and Sigeo (2010) fitoplankton memberikan respon yang cepat terhadap perubahan lingkungan akuatik, misalnya terhadap eutrofikasi, polusi dari limbah industri dan perubahan *regime* hidrologis suatu badan air. Pemantauan terhadap *population shift* pada komunitas fitoplankton akan memudahkan kita memandang berbagai perubahan yang terjadi di lingkungan akuatik. Pengetahuan terhadap dinamika populasi fitoplankton ini akan membantu dalam mengembangkan strategi pengelolaan yang efektif terhadap suatu badan air (termasuk situ).

Fitoplankton memiliki siklus hidup yang pendek sehingga responnya cepat terhadap perubahan lingkungan, oleh karena itu kelimpahan dan komposisi

spesies secara tidak langsung menunjukkan kualitas perairan dimana mereka ditemukan. Fitoplankton ini sangat dipengaruhi oleh aspek nonbiologis seperti pH, warna, rasa dan bau. Beberapa *taxa* kadang berguna untuk mendeterminasi sejarah dari suatu badan air (Wetzel, 2001; Torres *et al*, 2008; Zhou *et al*, 2008).

Hal yang paling penting dalam aspek ekologis adalah peranan fitoplankton sebagai produsen primer yang sangat penting dalam rantai makanan pada ekosistem perairan baik di laut maupun di perairan darat (Wetzel, 2001; Chapman, 1996; Stumm and Morgan, 1996). Spesies alga dan kuantitasnya dapat secara langsung menggambarkan kualitas perairan. Paparan logam berat dapat mengganggu metabolisme normal dan fungsi biologis, menghambat proses fotosintesis, mereduksi sitokrom, menyebabkan mutasi seluler, pembusukan bahkan kematian pada fitoplankton. Salah satu hal terpenting, sekali pencemar logam berat ini terakumulasi dalam fitoplankton, maka logam berat ini segera memasuki rantai makanan dan menyebabkan efek biomagnifikasi yang berujung pada kondisi membahayakan kesehatan manusia sebagai predator puncak (*top predator*). Menurut Barwick dan Maher (2003), biomagnifikasi adalah fenomena peningkatan konsentrasi bahan pencemar pada sedikitnya dua kali berturut-turut pada komponen jenjang trofik penyusun rantai makanan.

Fitoplankton tidak hanya potensial untuk digunakan dalam proses biomonitoring tapi juga layak digunakan sebagai perangkat fitoremediasi untuk memperbaiki kualitas perairan karena kemampuannya dalam membioakumulasi Pb dan Cd yang cukup tinggi.

### **2.3. Logam Timbal (Pb)**

#### **2.3.1. Karakteristik Geokimia**

Timbal (*Plumbum*, Pb) dengan nomor atom 82 dan massa atom 207,2 adalah termasuk golongan IV A, tapi tidak seperti karbon (C) dan silikon (Si), logam ini memperlihatkan penurunan sifat kovalensi. Logam Pb stabil sebagai ion Pb<sup>2+</sup> dan Pb<sup>4+</sup>. Secara umum rerata konsentrasi Pb di kerak bumi adalah 16 µg/g. Umumnya mineral Pb ini terbentuk dari larutan hidrotermal bersuhu rendah. Pb memiliki beragam mineralnya, namun hanya tiga jenis saja yang ditambang yaitu:

*galena* PbS, *cerrusite* PbCO<sub>3</sub>, dan *anglesite* PbSO<sub>4</sub>. Dalam mineral bebatuan, Pb diperkaya dalam bentuk *feldspar*. Kandungan Pb di tanah mirip dengan kelimpahannya di kerak bumi karena kestabilan Pb dalam siklus geokimia. Di tanah, ion-ion Pb diikat pada tanah liat atau terikat pada asam humat dan fulvat, membentuk *chelate* yang berkekuatan moderat (Allen *et al*, 1998; Csuros and Csuros, 2002 ; Manahan, 2001).

Tumbuhan mengandung rerata 0,5 µgPb/g bobot basah. Pada larutan encer, Pb membentuk sejumlah senyawa kompleks dengan *major anion*, termasuk hidroksida, karbonat, sulfida dan sulfat (Csuros and Csuros, 2002). Menurut Allen *et al.* (1998), perairan darat selalu memiliki kandungan Pb sedimen yang lebih tinggi dibandingkan perairan laut. Hampir 90 % Pb memasuki laut melalui padatan terlarut dari sungai-sungai dan kemudian terdeposisi dalam sedimen muara dan dasar samudra. Proporsi Pb terlarut yang lebih besar mencapai perairan samudra terbuka, dimana waktu tinggalnya mendekati 100-200 tahun. Pb mengalami metilasi di lingkungan membentuk turunan senyawa organik seperti (CH<sub>3</sub>)Pb<sup>+</sup>. Proses ini dimediasi oleh bakteri dalam sedimen (Weiner, 2008 ; Csuros and Csuros, 2002).

### **2.3.2. Sumber antropogenik**

Sumber primer kontaminasi Pb pada tanah, air dan udara adalah pembakaran bahan bakar mengandung timbal, produksi logam *non ferrous pyrometallurgical*, baja, besi, pembakaran batubara, produksi semen dan penimbunan lumpur aktif limbah perkotaan (*sewage sludge*). Diperkirakan 96 % semua emisi Pb berasal dari sumber antropogenik. Konsumsi bahan bakar bensin mengandung timbal sudah dikurangi di berbagai negara maju dengan membatasi penggunaan Pb (*tetraethyllead*, (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>Pb) sebagai bahan aditif atau populer sebagai *gasoline octane booster*, tetapi masih ada saja beberapa negara berkembang yang terus menggunakan bensin bertimbal ini. Pb terus digunakan dalam jumlah besar dalam baterai, produk logam, pigmen dan bahan-bahan kimia lainnya. Dalam baterai PbO (*litharge*) digunakan sebagai katoda yang dikemas sebagai *lead metal grid* berbentuk padatan kuning kemerahan . ketika baterai di *recharge*, PbO kemudian dioksidasi menjadi Pb<sup>4+</sup>, atau PbO<sub>2</sub> yang berwarna coklat gelap. Pb juga

digunakan untuk solder pada berbagai barang elektronik (Csuros and Csuros, 2002; Weiner, 2008).

Menurut Weiner (2008) dan Csuros and Csuros (2002), konsentrasi rerata global Pb di perairan berkisar 1,0-10  $\mu\text{gPb/L}$ .  $\text{Pb}^{2+}$  adalah bentuk paling stabil di hampir semua lingkungan alami. Sorpsi adalah mekanisme pengendali paling dominan distribusi logam ini di perairan, dimana senyawa kompleksnya dengan ligan organik menghasilkan senyawa mudah larut, koloid dan partikulat yang kemudian terikat oleh material humat. Di perairan alamiah umumnya, Pb ada pada konsentrasi rendah dan dalam fasa terlarut yang tampaknya berupa kompleks ligan organik. Dengan adanya suspensi *clay* pada pH 5-7, sebagian besar Pb mengendap dan terserap sebagai hidroksida terlarut. Kelarutan Pb sangat rendah ( $<1 \mu\text{g/L}$ ) pada pH 8,5-11 dalam air yang mengandung karbon dioksida dan sulfat.

Pb mengalami bioakumulasi dalam organisme akuatik termasuk *benthic bacteria*, tumbuhan air, avertebrata dan ikan. Pb tidak bersifat mudah berpindah pada kondisi lingkungan yang normal. Pb tertahan pada bagian tanah teratas 2-5 cm, terutama tanah dengan paling kurang 5 % material organik atau  $\text{pH}>5$ . Kelarutan Pb adalah  $10 \mu\text{g/L}$  pada  $\text{pH}>8$ , bila sekitar pH 6,5 kelarutannya  $>100 \mu\text{g/L}$  (Allen *et al.*, 1998; Csuros and Csuros, 2002 ; Manahan, 2001). Pb secara efektif dapat dihilangkan dari kolom air dengan cara adsorpsi pada material organik dan mineral lempung (*clay*), diendapkan sebagai garam tak mudah larut, dan reaksi dengan Fe hidrat dan Mn oksida. Pada kondisi yang tepat, pelarutan oleh mikroba anaerobik menjadi sangat signifikan pada lingkungan *subsurface*. Pada lingkungan yang oksidatif, bentuk Pb yang kurang larut adalah garam karbonat, hidroksida dan hidroksikarbonat. Pada kondisi reduktif, dimana ada sulfur, PbS adalah bentuk padatan Pb yang tidak mudah larut (Weiner, 2008).

### **2.3.3. Efek terhadap kesehatan**

Paparan jangka pendek terhadap Pb pada konsentrasi relatif rendah menyebabkan gangguan terhadap sel-sel darah merah, meningkatkan tekanan darah, kurang dapat berkonsentrasi, kurang dapat belajar, memperlambat pertumbuhan mental

dan fisik para bayi dan anak-anak. Pb bersifat toksik moderat terhadap tumbuhan dan hewan, tetapi toksisitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan krom (Cr), mangan (Mn), seng (Zn) dan barium (Ba) dan lebih rendah dibandingkan kadmium (Cd), merkuri (Hg) dan tembaga (Cu). Umumnya Tetraetil- Pb dianggap lebih toksik dibandingkan derivat termetilasi senyawa anorganik lainnya. Keracunan Pb ditandai dengan hilangnya nafsu makan, kelesuan, anemia dan mulas. Efek lainnya meliputi tekanan darah tinggi, gagal ginjal dan rusaknya sistem saraf *peripheral* (Manahan, 2001; Weiner, 2008; Csuros and Csuros, 2002).

Keracunan *acute* Pb masih relatif jarang terjadi. Badan penelitian internasional anti kanker menggolongkan Pb dalam grup tiga yaitu bahwa tidak cukup bukti jika Pb sebagai penyebab karsinogenitas pada manusia dan cukup terbukti sebagai penyebab karsinogenitas bila dalam bentuk senyawa garam-garam tertentu pada hewan. *Intake* harian untuk tubuh manusia adalah 1,2  $\mu\text{gPb/kg}$ . Konsentrasi dalam air minum maksimum direkomendasikan sebesar 10  $\mu\text{gPb/L}$  (Allen *et al*, 1998; Weiner, 2000; Wetzel, 2001; Csuros and Csuros, 2002). Pb adalah logam non esensial yang harus diberi perhatian serius keberadaannya di lingkungan akuatik karena sifat toksisitasnya yang tinggi terhadap organisme. Logam dan senyawa yang mengandung logam di perairan alamiah dapat berbentuk sebagai terlarut, koloid ataupun partikulat tergantung pada pH, potensial reduksi oksidasi, dan keberadaan spesies terlarut lainnya yang mampu membentuk senyawa dengan ion logam (Weiner, 2008; Wetzel, 2001; Manahan, 2002). Pb sebagaimana logam berat lainnya, memiliki resiko membahayakan bila memasuki lingkungan yang berkondisi meningkatkan kelarutannya.

Pb dikenal sebagai salah satu logam tipe B bersama Merkuri (Hg), Arsen (As), Selenium (Se), Timah putih (Sn) yaitu logam yang mudah termetilasi dan atau lepas ke atmosfer sebagai uap dari hasil pembakaran batu bara oleh sebab itu juga disebut sebagai logam atmofilik. Secara global setiap tahun atmosfer menyumbang fluks 70 % Pb dan 20 % Cd ke sistem akuatik (Stumm and Morgan, 1996). Logam tipe B adalah asam Lewis

yang harus jadi perhatian utama karena mereka tidak hanya diperkaya di lingkungan alamiah tapi juga bereaksi dengan basa lemah (misalnya gugus sulfhidril - SH dan amina - NH pada enzim) sehingga berpotensi membahayakan ekologi dan kesehatan manusia. Menurut Buffle and De Vitre (1994), partikulat secara kontinyu memasuki badan air dan material ini bertindak sebagai *carrier* logam runtu ke sedimen. Komposisi partikulat tentunya tergantung pada variasi musiman dan juga siklus biologis dalam perairan. Pengikatan ion logam pada partikulat terjadi karena adanya adsorpsi oleh permukaannya. Pengikatan ion logam oleh partikel menjadi berkurang dengan menurunnya pH.

## 2.4. Logam Kadmium (Cd)

### 2.4.1. Karakteristik Geokimia

Logam kadmium (Cadmium, Cd) dengan nomor atom 48 dan massa atom 112,41 adalah termasuk logam transisi pada periode V dalam tabel sistem periodik. Logam Cd dikenal sebagai unsur *chalcophile*, jadi cenderung ditemukan dalam deposit sulfide (Manahan, 2001). Jari-jari kovalen tertrahedral Cd mirip dengan seng (Zn) sehingga dapat memasuki struktur *sphalerite* (ZnS). Kelimpahan Cd pada kerak bumi adalah 0,13  $\mu\text{g/g}$ . Pada serasah (disebut juga *detritus* yaitu sisa tumbuhan akuatik berupa senyawa organik dalam fasa partikulat maupun terlarut) dan lempung nilainya relatif lebih tinggi (0,30  $\mu\text{g/g}$ ). Tanah pada wilayah yang tak tercemar dapat saja mengalami pengayaan Cd karena adanya ikatan antara Cd dan material organik (Allen *et al*, 1998). Level Cd secara alamiah di udara pada wilayah pedesaan dapat saja mencapai 0,2  $\mu\text{g/m}^3$  (Csuros and Csuros, 2002).

Pada lingkungan akuatik, Cd relatif bersifat mudah berpindah. Sebagian besar berupa spesies  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$ ,  $\text{CdCO}_3$  dan berbagai jenis senyawa kompleks organik dan anorganik lainnya. Urutan afinitas ligan terhadap kompleks dengan Cd di perairan darat adalah sebagai berikut: asam humat,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Kelarutan kompleks Cd hidroksida berkurang pada saat pH meningkat, ditandai dengan pembentukan padatan  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ . Di perairan darat, umumnya terjadi penyerapan oleh *suspended solid* seperti *clay*. Kopresipitasi dengan Fe dan

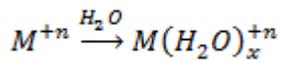
Mn terlarut juga penting untuk Cd di perairan darat (Allen *et al*, 1998; Weiner, 2008; Wetzel, 2001; Csuros and Csuros, 2002).

Menurut Csuros and Csuros (2002), Cd banyak sekali digunakan di dunia industri yaitu baterai Ni-Cd (50-55% konsumsi dunia), pigmen (18-20%), bahan *coatings* (8-12%), bahan *stabilizers* dalam industri plastik dan barang sintetis lain (6-10%). Cd memasuki lingkungan akuatik terutama dari deposisi atmosferik dan efluen pabrik yang menggunakan logam ini dalam proses kerjanya. Kisaran konsentrasi Cd di perairan darat Canada adalah <0,1 sampai 122 µgCd/L. Di perairan umumnya Cd hadir dalam bentuk ion-ionnya yang terhidrasi, garam-garam klorida, terkomplekskan dengan ligan anorganik atau membentuk kompleks dengan ligan organik (Weiner, 2008).

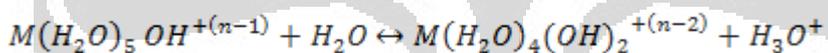
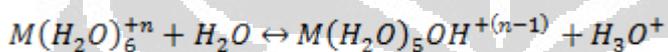
Cd di sedimen perairan yang tak terkontaminasi berkisar diantara 0,1 sampai 1,0 µg/g bobot kering. Pada umumnya di air permukaan, baik Cd terlarut maupun partikulat nya secara rutin dapat terdeteksi. Koefisien distribusi Cd partikulat/Cd terlarut pada perairan sungai di dunia berkisar dari  $10^4$  sampai  $10^5$ . Fluks *input* antropogenik secara global per tahun jauh melebihi emisi Cd dari sumber alamiahnya (kegiatan gunung berapi, *windborne soil particles*, garam-garam dari laut dan partikel biogenik ) sampai dengan satu tingkatan *magnitude*. Sampai sekarang belum ada bukti bahwa Cd berguna secara signifikan untuk mahluk hidup (Allen *et al*, 1998; Weiner, 2008; Manahan, 2001; Csuros and Csuros, 2002).

Menurut Weiner (2008) spesies Cd sebagaimana logam lainnya mengalami perubahan kontinyu diantara bentuk terlarut, endapan dan terserap ke sedimen. Laju adsorpsi, desorpsi dan presipitasi tergantung pada pH, kimia dan fisika perairan serta komposisi sedimen dasar yang tersuspensi. Adsorpsi logam terlarut ke sedimen menghilangkan logam terlarut dari perairan sehingga bioavailabilitasnya juga berkurang. Bentuk paling sederhana kation logam sebenarnya tidak benar-benar ada, yang ada adalah spesies terlarut yang saling berinteraksi dengan muatan lain

karena gaya elektrostatik. Kation logam berinteraksi menarik *multilayered hydration shell* pada molekul air pada ujung atom oksigennya menjadi kation yang bermuatan positif



Dimana M adalah kation logam, n adalah jumlah muatan positif kation, x adalah jumlah molekul air dibagian terdalam *hydration shell*, nilai x biasanya 6 untuk sebagian besar kation.  $Cd^{2+}$  memiliki muatan cukup besar untuk menarik molekul air dan bertindak sebagai asam dengan cara melepaskan  $H^+$  dari molekul air dalam *hydration sphere*. Interaksi kation logam dengan air menyebabkan kelarutan spesies logam dalam air.



Pada setiap tahapan, metal terhidrasi secara progresif terdeprotonasi membentuk polihidroksida yang semakin menjadi tidak mudah larut. Pada saat yang bersamaan larutan berubah menjadi bertambah asam karena terbentuk lebih banyak  $H_3O^+$ . Akhirnya, logam menjadi mengendap sebagai hidroksida bersolubilitas rendah. Derajat keasaman yang diinduksi oleh adanya hidrasi logam adalah lebih besar untuk kation yang berelektronegatifitas besar, bermuatan besar dan berukuran kecil.

Pada *interface* padatan dan air, karakteristik partikel terlarut berperan penting dalam mengatur konsentrasi unsur-unsur reaktif dalam sistem perairan. Partikel memiliki kapasitas pembentuk senyawa kompleks, penetralan asam basa dan transfer elektron dibandingkan komponen terlarut dan dengan demikian partikel menjadi *buffer* untuk ion-ion logam, ligan, proton dan elektron dalam fasa terlarut. Partikulat disini adalah material yang tertahan oleh filter berpori 0,45  $\mu m$  dengan tidak mempertimbangkan koloid organik maupun anorganik yang berada di perairan (Buffle and De Vitre, 1994).

Menurut Stumm and Morgan (1996) dalam Buffle and De Vitre (1994) secara fisik, partikel bertindak sebagai reaktan yaitu sebagai kolektor untuk partikel-partikel lainnya (agregasi koloid, koagulasi). Menurut Buffle and De Vitre, (1994), secara kimia partikel berperan dalam banyak hal misalnya a) sebagai pengumpul zat terlarut hidrofobik yang terakumulasi pada permukaan akibat pengusiran dari air; b) sebagai ligan permukaan (basa Lewis) yang kemudian berinteraksi dengan proton atau ion logam; c) sebagai asam Lewis yang mengikat ligan (anion dan asam-asam lemah) dalam pertukaran ligan; d) sebagai permukaan bermuatan umumnya dihasilkan segera sesudah proses adsorpsi ion logam,  $H^+$ , dan ligan (terkait dengan permukaan bermuatan dan polar); e) sebagai katalis redoks yaitu penyerapan oksidan dan reduktan dan memediasi interaksi kedua zat tersebut; f) sebagai donor dan akseptor elektron pada oksidasi dan reduksi partikel organik, Fe[III] oksida, FeS, sulfida, dan lainnya; g) sebagai penyerap cahaya untuk menginduksi proses redoks heterogen.

Logam runtu yang berada dalam sedimen di sistem akuatik dapat dilepaskan kembali ke *overlying water column* bergantung pada faktor kimia dan fisika perairan, proses aktifitas biologi bahkan gelombang dan arus yang disebabkan oleh tiupan angin karena dapat menginduksi pengadukan secara fisik *flocculent* pada permukaan sedimen. Pertukaran zat terlarut terjadi pada *interface* antara sedimen dan *overlying water column* merupakan aspek penting dalam siklus geokimia banyak unsur termasuk logam runtu (Buffle and De Vitre, 1994; Werner and Stumm, 1996, Wetzel, 2001).

#### 2.4.2. Sumber antropogenik

Secara global sumber utama Cd adalah dari deposisi atmosferik, proses *smelting* dan *refining* dari logam *non ferrous*, proses industri terkait produksi bahan kimia dan metalurgi, serta air buangan limbah domestik. Hanya 15 % saja dari deposisi atmosferik yang berasal dari sumber-sumber alamiah. Diperkirakan 1.000 ton Cd dilepaskan per tahun ke atmosfer dari *smelters* dan pabrik-pabrik yang mengolah Cd. Sampai dengan akhir abad 20 diperkirakan 45 % total pencemaran global

adalah oleh logam ini. Lebih jauh lagi sekitar 52 % berasal dari *incenerators* atau buangan produk yang mengandung Cd. Kecenderungan Cd untuk memasuki atmosfer dikarenakan volatilitasnya yang relatif besar. Titik didih logam Cd murni hanyalah 765°C, bandingkan nilai tersebut dengan titik didih Pb (1750°C), dan Zn (907°C) (Allen *et al*, 1998; Weiner, 2008; Manahan, 2001; Csuros and Csuros, 2002).

Pelepasan Cd ke dalam perairan alamiah sebagian besar berasal dari industri galvanik. Sumber lain polusi Cd adalah industri baterai Ni-Cd. Pupuk dan fungisida mengandung Cd bersamaan dengan Zn juga merupakan sumber potensial polusi kedua logam ini. Di seluruh dunia produksi Cd makin meningkat dan sejak 1990- an diperkirakan telah mendekati 20.000 metrik ton/tahun. Penggunaan utama Cd adalah pada bidang *electroplating* dengan logam-logam lainnya atau dalam *alloy* untuk proteksi terhadap korosi dan dalam pabrik pembuatan *storage batteries*, gelas, keramik, pigmen dan beberapa biosida (Allen *et al*, 1998; Weiner, 2008; Csuros and Csuros, 2002).

#### **2.4.3. Efek terhadap kesehatan**

*Uptake* Cd oleh organisme terjadi melalui air, udara dan makanan. Cd sangat toksik untuk manusia. Keracunan akut Cd dapat terjadi dari menghirup uap atau debu atau dari air dan makanan yang telah terkontaminasi. Cd yang telah memasuki tubuh manusia biasanya sebagian besar terakumulasi di ginjal dan hati. Penyakit terkait keracunan Cd di Jepang dikenal dengan sebutan “*itai-itai*” menimbulkan *multiple fractures* yang berasal dari *osteo malacia*. Tidak ada bukti bahwa Cd bersifat karsinogenik melalui “*rute oral*”. *The International Agency for Research on Cancer* telah menggolongkan Cd dan senyawanya ke dalam kelompok 2B yaitu kelompok dengan bukti terbatas karsinogenitasnya terhadap mamalia. *Intake* harian untuk tubuh manusia adalah 0,28 µg/kg (Csuros and Csuros ,2002).

Standar untuk air minum adalah 0.5 µg/L (Weiner, 2008). Konsentrasi Cd dalam air minum berkisar dari 0,2-0,7 µg/L (Csuros and Csuros, 2002). Kadar Cd 200 µg/L dalam air dapat mematikan ikan. Pemaparan akut Cd dapat menyebabkan

pusing, muntah, diare, kram otot, gangguan penginderaan, air liur berlebihan, merusak hati, kekejangan dan gagal ginjal. Cd pada pemaparan rendah secara perlahan akan dihilangkan dari tubuh, namun dapat juga dibioakumulasi selama bertahun-tahun (Weiner, 2008). Toksisitas Cd menjadi berkurang dengan adanya logam Zn, Ca, Cu, Fe dan Se (Csuros and Csuros ,2002).

## 2.5. Parameter Kimia dan Fisika Perairan

Setiap jenis perairan memiliki pola karakteristik unik kimia dan fisika yang sangat terkait dengan kondisi geologi, iklim, demografi, dan sebagainya. Setiap bagian dari bumi ini secara kontinyu berubah, termasuk juga ekosistem (Chapman, 1996). Beberapa perubahan tersebut terjadi dalam jangka waktu puluhan, ratusan bahkan ribuan tahun, yang lainnya terjadi dalam hitungan hari, menit atau lebih singkat lagi (Weiner, 2008).

Pengendalian terhadap bahan pencemar lingkungan bergantung pada pola perubahan kondisi lingkungan dalam skala waktu yang tepat. Sebagai contoh kelarutan Pb di perairan sangat besar pada pH rendah (bersifat asam), maka jika logam ini akan dihilangkan dari perairan, nilai pH perairan tersebut harus ditingkatkan menjadi basa. Pb pada kondisi perairan basa akan berbentuk sebagai padatan yang mudah mengendap.

Menurut Weiner (2008), beberapa parameter kimia fisika perairan yang penting untuk dipertimbangkan adalah: suhu, pH, turbiditas, kedalaman *Secchi*, konduktifitas dan oksigen terlarut (*Dissolved oxygen*, DO). Berikut ini akan di bahas satu persatu tentang parameter tersebut:

**Suhu** adalah sebuah ukuran intensitas panas yang tersimpan dalam air pada volume tertentu. Faktor suhu mempengaruhi produktifitas suatu perairan dan juga laju dekomposisi material organik yang terjadi di dalamnya. Peningkatan suhu mengubah lingkungan fisik baik dalam hal densitas perairan dan konsentrasi oksigen yang terlarut (Wetzel, 2001). Reaksi dan proses kimia yang terjadi dalam perairan juga sangat dipengaruhi oleh adanya perubahan suhu (Stumm and Morgan, 1996). Suhu perairan berpengaruh terhadap kelarutan gas seperti oksigen dan CO<sub>2</sub> , kedua gas ini kelarutannya pada perairan akan

menurun seiring meningkatnya suhu. Proses biodegradasi material organik di air dan sedimen juga akan dipercepat bila suhu meningkat yang juga meningkatkan kebutuhan terhadap DO (Weiner, 2008).

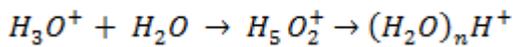
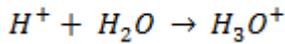
Metabolisme ikan dan tumbuhan air juga meningkat sejalan dengan peningkatan suhu. Sebagian besar kesetimbangan kimia tergantung suhu. Kisaran normal suhu standar diatur untuk memelihara pola normal fluktuasi harian dan musiman, dengan tiadanya efek merugikan terhadap kehidupan biota akuatik. Maksimum peningkatan suhu yang tidak membahayakan kehidupan ikan adalah 3°C lebih dari 4 jam, dan bertahan lebih dari 12 jam. Sedangkan pada fitoplankton tetap dapat tumbuh sampai pada kisaran suhu  $\leq 35$  °C (Chapman, 1996).

**pH** adalah faktor penting dalam kimia perairan karena mempengaruhi sifat spesies kimia yang ada di perairan. Faktor pH juga berpengaruh terhadap derajat ionisasi dan toksisitas beberapa senyawa terlarut terhadap kehidupan akuatik. pH air murni pada 25 °C adalah 7, tapi pH pada sistem akuatik dipengaruhi oleh CO<sub>2</sub> terlarut dan paparan terhadap mineral. Umumnya air permukaan memiliki pH 6,0-8,5 meskipun kadang-kadang dijumpai nilai yang lebih rendah maupun yang lebih tinggi dari kisaran tersebut pada kondisi tertentu. Kondisi khusus tersebut misalnya oksidasi senyawa sulfida akan memperendah pH dan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang rendah akan meningkatkan pH.

Pada siang hari, fotosintesis di air permukaan oleh organisme akuatik mungkin akan mengkonsumsi CO<sub>2</sub> lebih banyak dibandingkan yang berasal dari atmosfer, akan menaikkan pH. Pada malam hari setelah fotosintesis berhenti, CO<sub>2</sub> dari atmosfer terus berlanjut melarut dan menurunkan nilai pH. Kisaran pH untuk melindungi kehidupan akuatik tergantung pada faktor DO, suhu, konsentrasi anion dan kation. Kisaran pH 6,5-9,0 dan tidak bervariasi sampai lebih dari 0,5 unit dari nilai maksimum atau minimum pada kondisi normalnya merupakan syarat untuk kehidupan akuatik (Weiner, 2008).

Stumm and Morgan (1996) menyatakan bahwa pH adalah ukuran dari konsentrasi ion H<sup>+</sup> di perairan. Ion hidrogen ini dihasilkan dari disosiasi

molekul air sendiri ataupun dari disosiasi dari molekul terlarut lain yang mengandung hidrogen. Ion  $H^+$  terlalu reaktif untuk berada sendirian dan selalu terikat pada molekul spesies lain.



Molekul kompleks  $(H_2O)_nH^+$  disebut sebagai proton terhidrasi yang menyebabkan karakteristik asam suatu perairan (Weiner, 2008). Secara konvensi untuk menyatakan pH diberlakukan dengan persamaan sebagai berikut

$$pH = -\log_{10} [H^+]$$

Persamaan logaritmik ini tidak berdimensi. Konsentrasi ion  $H^+$  menunjukkan berapa banyak ion hidrogen yang tersedia pada saat pengukuran untuk pertukaran antar spesies kimia. Pertukaran ion hidrogen ini merubah sifat kimia antar spesies yang terlibat. Spesies pemberi (donor) yang tadinya bersifat asam berubah menjadi basa karena menerima ion hidrogen dan penerima (akseptor) yang sebelumnya basa berubah menjadi asam karena sekarang dia dapat menyumbangkan ion hidrogen.

**Turbiditas**, adalah sifat visual perairan yang menunjukkan reduksi atau pengurangan kecerahan yang disebabkan oleh adanya partikel tersuspensi (*suspensoid*). Turbiditas antara lain terdiri atas partikel anorganik dan organik yang berasal dari erosi tanah pada daerah tangkapan air (*catchment basin*) dan dari resuspensi sedimen dasar perairan. Partikel anorganik berukuran 0,2 sampai 2  $\mu m$  dan terdiri atas mineral-mineral silikat (*mica, illite, montmorillonite, vermiculite, kaolinite*) oksida aluminium dan oksida besi. Kirk mengemukakan seperti yang di sitir dalam Wetzel (2001) bahwa partikel tersuspensi menyerap *photon* yang terhamburkan. Meskipun *suspensoid* yang mampu menyerap cahaya

ini hanya pada perairan tertentu tetapi partikel menyumbangkan hampir keseluruhan hamburan radiasi matahari di perairan alamiah. Peningkatan hamburan cahaya oleh turbiditas menyebabkan peningkatan refleksi dan hamburan cahaya keluar dari perairan menuju atmosfer (Stumm and Morgan, 1996).

Turbiditas merupakan hasil dari penghamburan dan absorpsi cahaya yang datang oleh partikel dan transparansi adalah batas *visibility* (keterlihatan) dalam air. Keduanya dapat bervariasi secara musiman sesuai dengan aktifitas biologis yang terjadi dalam kolom air dan partikel tanah yang terbawa oleh *surface run off*. Hujan yang sangat deras juga dapat membuat variasi turbiditas dalam durasi yang ber jam-jam. Turbiditas seharusnya diukur secara *in situ*. Satuan turbiditas dinyatakan dengan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Kisaran normal turbiditas adalah 1 sampai 1000 NTU dan levelnya dapat meningkat karena adanya polusi material organik, efluen lain, atau *run off* yang mengandung material tersuspensi tinggi (Wetzel, 2001).

**Kedalaman Cakram Secchi (*Secchi disk*)** adalah salah satu cara sederhana untuk mengevaluasi transparansi dari suatu perairan terhadap cahaya dan terkait dengan aktifitas biologis. Turbiditas *Secchi disk* adalah kedalaman rerata di suatu titik dimana piringan putih berdiameter 20 cm mulai menghilang ketika dilihat dari atas dan juga di suatu titik dimana piringan tadi mulai terlihat kembali setelah piringan tadi ditarik kembali keatas. Parameter ini penting diamati karena sebagai fungsi dari refleksi cahaya dari permukaan sehingga dipengaruhi oleh karakteristik perairan yang disebabkan oleh material yang terlarut dan partikulatnya. Dalam batasan tertentu, kedalaman ini sering dikaitkan dengan densitas populasi fitoplankton pada perairan yang produktif. Radiasi sinar matahari sangat berperan penting dalam produktifitas perairan (Wetzel, 2001).

**Konduktifitas perairan** atau disebut juga konduktifitas spesifik perairan adalah ukuran daya hantar suatu larutan terhadap arus listrik atau aliran elektron. Daya hantar listrik tersebut bertambah dengan meningkatnya kandungan ion. Semakin

tinggi kemurnian air semakin besar pula resistensinya terhadap aliran listrik. Secara definitif, konduktifitas spesifik sebuah larutan elektrolit adalah kebalikan dari resistensi spesifik larutan yang diukur antara dua elektroda dalam luas  $1 \text{ cm}^2$  dan berjarak satu sama lain  $1 \text{ cm}$ . Faktor ini sensitif terhadap fluktuasi padatan terlarut, khususnya garam-garam mineral. Konduktifitas dipengaruhi oleh derajat disosiasi ion, muatan masing-masing ion, mobilitas ion dan juga suhu perairan. Konduktifitas perairan dinyatakan dalam  $\mu\text{Siemens/cm}$  atau  $\mu\text{S/cm}$ . Suhu elektrolit berpengaruh terhadap kecepatan ion, dan mampu meningkatkannya sebesar  $2\%$  per  $^\circ\text{C}$  (Wetzel, 2001).

**Oksigen terlarut (DO, *Dissolved Oxygen*)** adalah parameter penting di perairan selain untuk mendukung proses abiotik di perairan juga untuk metabolisme semua organisme akuatik yang aerobik. Oleh sebab dinamika distribusi DO adalah dasar untuk pemahaman terhadap distribusi, sifat dan pertumbuhan suatu organisme. Laju pasokan DO dari atmosfer dan *input* fotosintesis dan distribusi hidrodinamik oksigen diimbak balik (*counter balanced*) oleh metabolisme konsumtif biota dan reaksi kimia non biotik. Laju penggunaan oksigen yang terkait dengan fotosintesis memungkinkan pendekatan evaluasi terhadap metabolisme yang terjadi di perairan. DO sangat berpengaruh terhadap kelarutan banyak nutrisi anorganik. Perubahan ketersediaan nutrisi dan juga bahan pencemar dikendalikan oleh pergeseran dari kondisi aerobik ke anaerobik pada perairan. Perubahan distribusi nutrisi maupun bahan pencemar menghasilkan pula perubahan laju pertumbuhan banyak organisme akuatik. Respon organisme dapat terjadi secara sementara maupun jangka panjang dan hal ini tergantung pada DO, dengan demikian produktifitas perairan menjadi sangat tergantung dengan kuantitas DO. DO ditentukan oleh tekanan parsial oksigen di atmosfer dan suhu. Fotosintesis oleh fitoplankton dapat menambah kuantitas DO (Wetzel, 2001).

DO digunakan untuk proses degradasi (oksidasi) material organik di perairan. Karena konsentrasi DO tidak pernah besar, maka proses penggunaan oksigen dapat dengan cepat mereduksi DO sampai dekat dengan nol dalam ketiadaan mekanisme aerasi yang efisien. Ikan daerah *temperate* memerlukan DO  $5\text{-}6 \text{ mg/L}$  untuk tumbuh dan berkembang, mereka berhenti makan jika level DO hanya  $3\text{-}4$

mg/L dan mati bila defisiensi oksigen yang disebabkan oleh proses degradasi kontaminan. Perairan yang memiliki DO di atas 8,0 mg/L digolongkan sebagai perairan dengan kondisi bagus, sedangkan bila di bawah 4,0 mg/L dikatakan sebagai perairan dengan kondisi tercemar berat (Weiner, 2008). *DO* adalah parameter yang penting untuk semua bentuk kehidupan akuatik, termasuk organisme yang bertanggungjawab terhadap proses *self purification* di perairan alamiah (Chapman, 1996; Wetzel, 2001; Manahan; 2002; Weiner 2008).

DO bervariasi tergantung suhu, turbulensi, salinitas dan aktifitas fotosintetik alga dan tumbuhan akuatik. DO akan berkurang dengan meningkatnya suhu dan salinitas. DO di perairan darat sekitar 8,3 mg/L pada suhu 25 °C. Konsentrasi di perairan yang masih alamiah dekat dengan nilai tersebut tetapi tidak pernah lebih dari 10 mg/L. Respirasi biologis menurunkan nilai DO. Limbah yang banyak mengandung material organik dipastikan memiliki DO yang rendah karena respirasi mikroba *decomposer*. Pada kondisi yang teramat buruk, DO dapat mendekati 0 mg/L (kondisi *anaerobic*) terutama pada bagian *interface* permukaan sedimen-air sebagai akibat penguraian material organik yang tersedimentasikan. Konsentrasi DO < 5mg/L merugikan fungsi dan ketahanan komunitas biologi dan bila <2 mg/L menyebabkan kematian beberapa jenis ikan. DO dapat digunakan untuk indikator pencemaran material organik, penguraian material organik dan level *self purification* suatu badan perairan (Wetzel, 2001; Manahan; 2002; Weiner 2008).

## **2.6. Kesadahan Total di perairan**

Kesadahan memiliki banyak kesamaan dengan alkalinitas. Keduanya adalah parameter kualitas air yang bukan hanya menyangkut konstituen tunggal oleh sebab itu perlu beberapa kesepakatan untuk menyatakan kesadahan secara kuantitatif. Baik alkalinitas maupun kesadahan dinyatakan dalam konsentrasi ekuivalen CaCO<sub>3</sub>. Perbedaannya adalah bahwa kesadahan membahas tentang kation (kuantitas ion Ca<sup>2+</sup> dan Mg<sup>2+</sup>) sedangkan alkalinitas membahas anion

(kuantitas ion  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ ). Kesadahan kadangkala berguna sebagai indikator keberadaan *Total Dissolved Solid* (TDS), karena  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  seringkali menjadi bagian terbesar dari TDS. Tidak ada bukti efek kesadahan terhadap kesehatan manusia. Rendahnya nilai kesadahan meningkatkan sensitifitas ikan terhadap logam toksik karena meningkatkan potensi ditemukannya logam terlarut pada kondisi tersebut. Nilai ideal untuk total kesadahan di perairan darat adalah 70-90 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ . Nilai kesadahan 120-200 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  di sebut sebagai air yang bersifat “*hard*” atau sadah pada kondisi ini sering terbentuk kerak dan noda pada pipa-pipa saluran air dan ketel pemanas (Weiner, 2008).

## 2.7. Klorofil-a di perairan

Pigmen hijau klorofil (yang ada dalam tiga bentuk yaitu klorofil a, b dan c) terdapat di semua organisme fotosintetik dan merupakan salah satu cara pengukuran tidak langsung biomasa alga serta mengindikasikan *trophic status* suatu badan perairan. Parameter ini selalu diikutsertakan dalam program penilaian kualitas air untuk danau dan waduk dan sangat penting untuk pengelolaan perairan yang diperuntukkan untuk air minum, karena pertumbuhan alga yang berlebihan menyebabkan air menjadi sulit untuk diolah lebih lanjut (Chapman, 1996).

Pertumbuhan alga atau fitoplankton dalam suatu perairan terkait dengan nutrisi (terutama nitrat dan fosfat), suhu dan cahaya. Jadi konsentrasi klorofil a ini berfluktuasi secara musiman bahkan harian atau tergantung kedalaman dan kondisi lingkungan. Perairan oligotrofik dicirikan dengan level klorofil yang rendah ( $<2,5 \mu\text{g}/\text{L}$ ) sementara perairan eutrofik (berkandungan nutrisi tinggi) memiliki kisaran konsentrasi klorofil yang tinggi (5-140  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) bahkan ada yang mencapai 300  $\mu\text{g}/\text{L}$  (Chapman, 1996).

Klorofil akan berfluoresensi warna merah bila disinari oleh cahaya biru dan sifat ini dapat digunakan untuk mengukur level klorofil serta menunjukkan biomassa alga. Fluorimeter dapat digunakan untuk pengukuran klorofil a secara *in situ* dibantu dengan sistem pemompaan pada disain peralatan tertentu. Contoh untuk

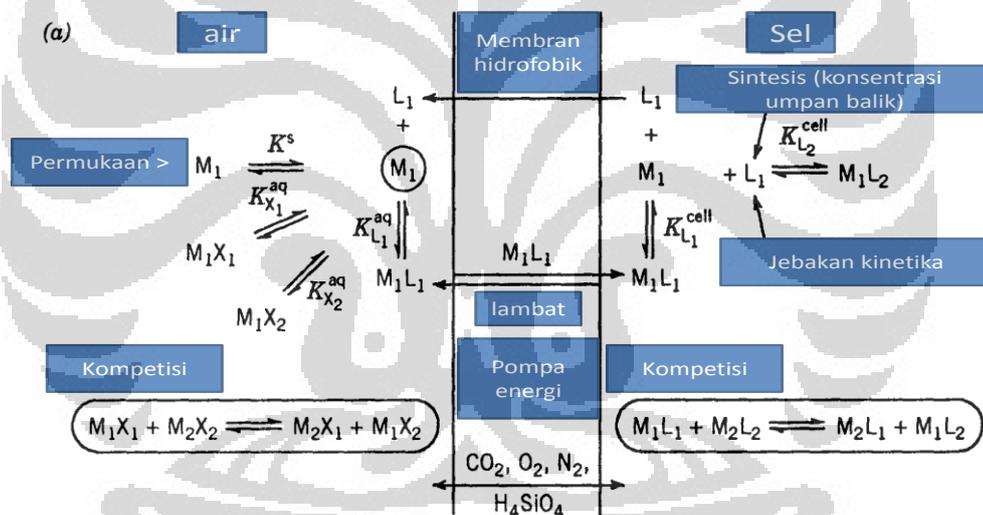
analisa klorofil harus disimpan dalam botol polietilen dan segera diawetkan dengan 0,1-0,2 mL suspensi karbonat. Sampel juga harus segera di *filter* meskipun dapat juga disimpan dalam ruang gelap lebih dari 8 jam. Bila sampel sudah disaring dengan filter *glass fibre* (GF/C grade), maka sampel tersebut dapat disimpan dengan cara dibekukan beberapa waktu sebelum dianalisis. Pigmen klorofil juga dapat di ekstraksi dengan pelarut organik dan diukur secara spektrofotometri sesuai dengan metode yang digambarkan oleh Strickland and Parson dalam APHA-AWWA-WEA (1998). Determinasi yang paling umum adalah terhadap klorofil-a, meskipun beberapa metode memungkinkan kombinasi pengukuran klorofil a,b,dan c. Keberadaan produk klorofil yang terdegradasi seperti *phaeophytin*, dapat mengganggu estimasi pengukuran klorofil dalam ekstrak pelarut. Hal ini dapat diatasi dengan pembacaan densitas optik sebelum dan sesudah asidifikasi terhadap ekstrak dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (APHA-AWWA-WEA , 1998).

## **2.8. Bioakumulasi Logam oleh fitoplankton**

Proses bioakumulasi biasanya diterangkan dalam sebuah model salah satunya adalah pada Gambar 2.1 yang dibuat oleh da Silva and Williams dalam Stumm and Morgan (1996). Model tersebut menggambarkan proses *uptake* ion logam oleh fitoplankton yang terjadi dalam dua tahapan proses meliputi pengikatan logam pada bagian luar permukaan sel yang secara biologis melepaskan ligan atau dengan gugus ligan fungsional yang terletak pada permukaan sel. Setelah pembentukan kompleks logam pada permukaan ini kemudian senyawa itu dibawa menembus membran sel -biasanya oleh *molekul porter* (molekul pembawa)- ke bagian dalam sel. Pada sisi bagian sel yang kontak dengan air terdapat kesetimbangan beberapa kompleks terlarut dan ligan-ligan pada permukaan dan ion logam yang bebas. Kompetisi diantara ligan-ligan yang berbeda terhadap  $H^+$  dan ion logam yang bermacam-macam membentuk kesetimbangan multidimensional. Karena kesetimbangan ini *interdependent*, maka tidak ada unsur yang terbebas dari label “toksik” pada level dosis tertentu. Aspek kinetika yang berlangsung meliputi laju reaksi pertukaran ligan, laju reaksi dan lepasnya *carrier ligand*  $L_1$ , dan laju transport  $ML_1$  melewati membran sel (biasanya dengan

transport aktif). Bila transport menuju ke bagian dalam sel berlangsung lambat dibandingkan pada proses pra penyeimbangan pada sisi larutan, maka *uptake* ion logam oleh sel bergantung pada konsentrasi ion logam bebas. Produksi dan pelepasan  $L_1$ ,  $L_2$  dan seterusnya terkait dengan laju pertumbuhan alga. Selektifitas ion logam tertentu bergantung pada selektifitas ligan  $L_1$ .

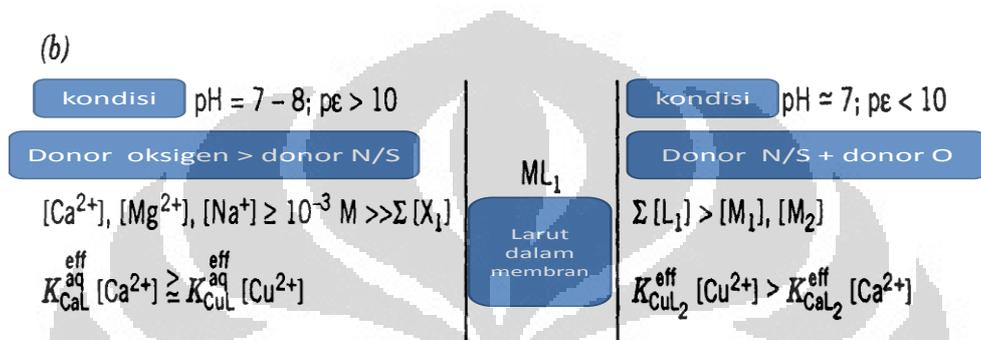
Molekul pembawa seringkali berupa protein. Faktor sterik juga menentukan selektifitas. Konsentrasi di dalam sel tergantung pada ketersediaan ligan  $L_1$ , pada laju transport melewati membran dan kemungkinan laju transport keluar dari sel. Reaktifitas kimia logam diukur melalui aktifitas ion logam bebas dan efek fisiologis logam yang dimediasi oleh reaksi kimia antara logam dan berbagai ligan seluler (Morel and Hering dalam Stumm and Morgan, 1996).



Gambar 2.1. Model skematik *uptake* ion logam melalui membran sel fitoplankton oleh da Silva and William dalam Stumm and Morgan (1996).

Ion logam dalam sel digunakan dalam proses biokimia atau menjadi terjebak dalam bentuk tidak aktif (misalnya sebagai kompleks *metallothionein*) sebagaimana dalam mekanisme detoksifikasi. Efek toksik akan terlihat pada alga ketika konsentrasi seluler ion logam toksik mencapai beberapa level kritis mendekati konsentrasi seluler minimum logam runtu esensial. Sistem kemudian menjadi *overflowed* dengan ion logam toksik yang kemudian bereaksi dengan

*critical enzymes*. Logam toksik umumnya berpindah kedalam sel dengan cara yang sama dengan *uptake* terhadap nutrisi. *Binding sites* metabolik tidak pernah sepenuhnya spesifik pada logam esensial, sehingga logam nutrisi dapat secara kompetitif disingkirkan dari *metabolic sites* oleh logam inhibitor atau toksik. Logam toksik mencapai bagian *interior metabolic sites* ketika *uptake* logam nutrisi terhambat secara kompetitif (Sunda dalam Stumm and Morgan, 1991).



Gambar 2. 2. Model skematik variabel penentu sifat larutan yang berada di luar dan di dalam sel (da Silva and William dalam Stumm and Morgan , 1996).

Gambar 2.2 memperlihatkan perbandingan variabel di luar dan di dalam sel yaitu pH, potensial redox (pe), jenis ligan dan kation. Di sekeliling donor oksigen di perairan, basa kuat (seperti OH<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, karboksilat) lebih dominan dibandingkan basa-basa lemah (NH<sub>3</sub>, HS<sup>-</sup>). Kation alkali dan alkali tanah umumnya berlimpah dibandingkan logam runtu dan ligan, jadi kecenderungan untuk membentuk kompleks Ca dan Mg lebih tinggi untuk membentuk kompleks dengan logam runtu. Sebaliknya, dibagian dalam sel, kondisi lebih reduktif sehingga konsentrasi basa lemah (NH<sub>3</sub>, HS<sup>-</sup>) menjadi lebih besar dibandingkan terhadap ligan donor oksigen. Konsentrasi ligan-ligan pada keadaan tersebut menjadi melebihi konsentrasi logam runtu sehingga kecenderungan untuk membentuk kompleks dengan Cu<sup>2+</sup> melebihi dari Ca<sup>2+</sup> (Stumm and Morgan ,1996).

Interaksi antara logam runtu dan fitoplankton adalah bersifat timbal balik. Logam runtu mempengaruhi komunitas alga, sebaliknya komunitas ini memiliki pengaruh besar terhadap sifat kimia logam runtu. Fitoplankton membantu meregulasi

konsentrasi beberapa nutrisi dan logam berat. Mekanisme timbal balik meliputi pengeluaran ligan-ligan pengkompleks yang relatif spesifik dan berafinitas besar terhadap beberapa nutrisi dan logam berat. Logam berat selanjutnya akan berpengaruh besar pada komposisi spesies komunitas biologi (Buffle and DeVitre, 1994).

*Uptake* makro nutrisi maupun logam berat oleh alga di bagian permukaan perairan diikuti oleh proses regenerasi senyawa nutrisi. Senyawa nutrisi tersebut kemudian kembali ke dalam lapisan perairan yang lebih dalam setelah melalui tahapan degradasi mikrobial pada partikel biogenik yang tenggelam ke dasar perairan. Siklus ini memecah konsentrasi nutrisi di bagian permukaan perairan dalam rasio yang sama levelnya dalam fitoplankton dan memperkaya mereka pada bagian perairan yang lebih dalam. Rasio ini dikenal sebagai *Redfield ratio*. Konsep ini menunjukkan bahwa logam berat yang ada dalam fitoplankton proporsinya relatif konstan, beberapa dari logam berat ini dapat membatasi pertumbuhan biota akuatik (Stumm and Morgan, 1996; Buffle and DeVitre, 1994).

### **2.9. Prinsip Kerja *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer* (GrAAS)**

GrAAS yang sering juga disebut sebagai *electrothermal atomic absorption spectrometer* memungkinkan dilakukannya determinasi logam dengan sensitivitas dan limit deteksi 20 sampai 100 kali lebih baik dibandingkan dengan Flame AAS (FAAS) yang konvensional tanpa memerlukan teknik ekstraksi terlebih dulu. Peningkatan sensitivitas ini disebabkan oleh peningkatan densitas atom dalam *furnace* bila dibandingkan dengan FAAS. Banyak unsur logam yang dapat terdeterminasi pada konsentrasi rendah ( $1\mu\text{g/L}$ ). Kelebihan lain dari GrAAS adalah diperlukannya volume sampel yang lebih kecil (Csuros and Csuros, 2002; APHA-AWWA-WEA, 1998).

GrAAS digunakan hanya pada level konsentrasi logam dibawah *optimum range* dari FAAS dikarenakan lebih banyaknya gangguan dibandingkan FAAS dan perlu waktu lebih analisis lebih lama. Dalam penelitian ini, karena target analisis

adalah logam Pb dan Cd di perairan alamiah maka GrAAS dipilih sebagai instrumen untuk menganalisis kedua logam tersebut dalam berbagai matriks sampel yang telah terlebih dulu di preparasi sesuai karakteristik masing-masing jenis matriks (Csuros and Csuros, 2002; APHA-AWWA-WEA ,1998).

Prinsip dari GrAAS sebenarnya sama dengan FAAS tetapi menggunakan *atomizer* yang dipanaskan dengan listrik atau *graphite furnace* menggantikan *standard burner head*. Sejumlah tertentu volume sampel dimasukkan dalam tabung sampel dari bahan grafit (*graphite tube*). Biasanya determinasi dilakukan dengan memanaskan sampel sampai tiga tahap atau lebih. Pertama, pada pemanasan bersuhu rendah pada *graphite tube* untuk mengeringkan sampel. Kedua, tahap pembakaran (*charring*), yaitu menghancurkan material organik dan menguapkan komponen matriks lain pada suhu pertengahan (*intermediate temperature*). Akhirnya *graphite tube* dipanaskan sampai berpijar dalam atmosfer yang *inert* untuk mengatomisasi unsur yang dideterminasi.

Tahap tambahan seringkali dilakukan untuk membantu proses pengeringan dan pembakaran, dan untuk pembersihan dan pengeringan *graphite tube* dilakukan diantara proses analisis sampel. Uap atom pada kondisi *ground state* menyerap radiasi monokromatik dari sumbernya yaitu *Hollow Cathode Lamp* (HCL). Detektor fotoelektrik mengukur intensitas dari radiasi yang ditransmisikan. Logaritmik absorbansi berbanding terbalik terhadap transmitan yang secara langsung sebanding dengan jumlah kepadatan uap atom-atom pada kondisi *ground state* (hukum *Lambert-Beer*) pada kisaran konsentrasi yang terbatas (*Hitachi High Technologies Corporation*, 2006; APHA-AWWA-WEA ,1998).

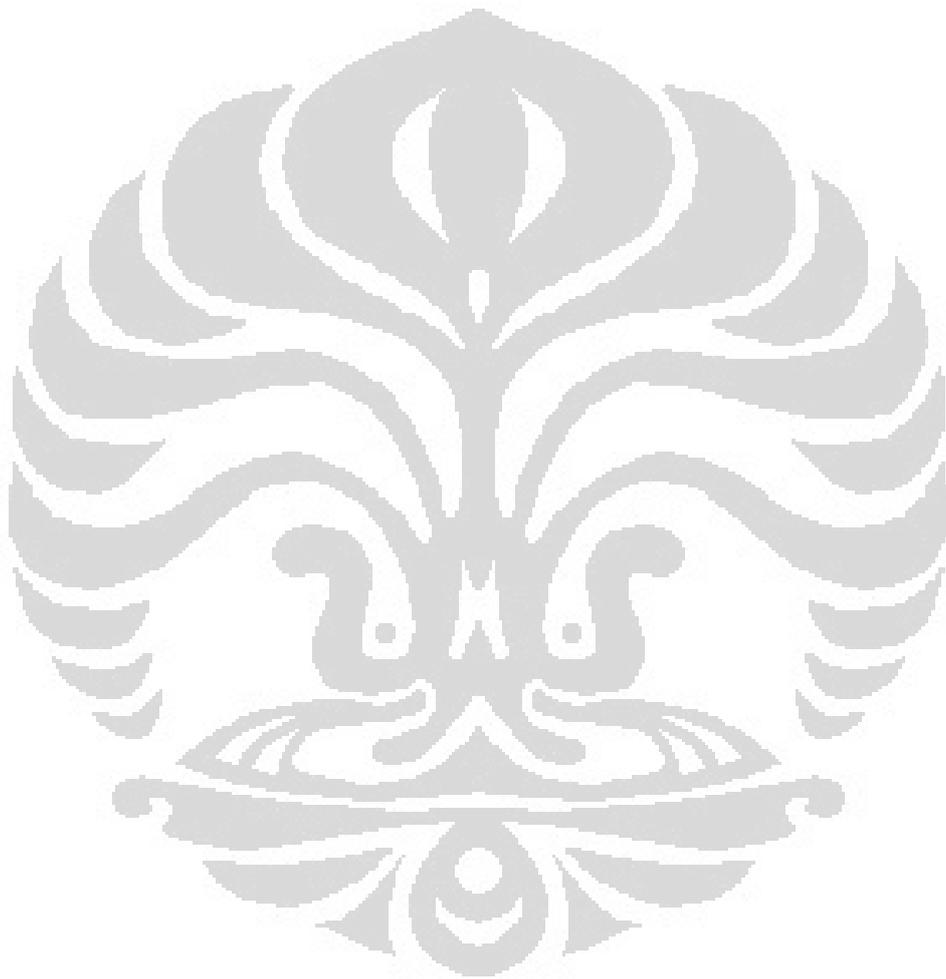
Gangguan signifikan pada GrAAS adalah absorpsi molekuler seperti juga gangguan efek kimia dan matriks. Absorpsi molekuler terjadi ketika komponen matriks sampel menguap selama atomisasi, menyebabkan *broadband absorption*. Beberapa teknik koreksi *background* tersedia secara komersial untuk mengatasi gangguan ini. Analisis dengan GrAAS dalam penelitian ini dikoreksi menggunakan teknik *Zeeman Effect background*, teknik lainnya adalah menggunakan sebuah *continuum source* seperti *deuterium arc* yang dapat mengoreksi *background* sampai pada *absorbance level* 0,8. Intensitas dari

*continuum lamp* menghilang pada panjang gelombang yang tinggi dan digunakan untuk koreksi *background continuum* dan terbatas hanya pada panjang gelombang di bawah 350 nm. Koreksi *Zeeman effect background* dapat mengatasi masalah *background absorbance* 1,5-2,0. Teknik koreksi *Smith-Hieftje* dapat mengakomodasi absorpsi *background* 2,5-3,0. Baik *Zeeman* dan *Smith-Hieftje background correction* rentan terhadap *roll-over* (terbentuknya hubungan negatif pada kurva absorbansi –konsentrasi) pada absorbansi tinggi. Data *roll over* untuk tiap unsur seharusnya tersedia untuk setiap pembuat instrument GrAAS (Hitachi High Technologies Corporation, 2006; APHA-AWWA-WEA, 1998).

*Temperature ramping* atau pemanasan yang perlahan-lahan sampai tercapai suhu yang tetap dipertahankan pada waktu tertentu dapat digunakan untuk mengurangi gangguan *background* dan memungkinkan dilakukannya analisis sampel dengan matriks yang kompleks. *Ramping* juga memungkinkan untuk dilakukannya pengontrolan terhadap peningkatan suhu kontinyu pada tanur dalam berbagai tahapan sekuens suhu. *Ramp drying* digunakan untuk sampel yang mengandung campuran pelarut atau berkadar garam tinggi untuk menghindari terjadinya *splattering*. Sampel yang mengandung campuran kompleks komponen matriks memerlukan proses *ramp charring* untuk mengontrol dekomposisi termal yang sempurna. *Ramp atomization* meminimalkan *background absorption* dengan cara membiarkan terjadinya volatilisasi unsur yang akan dideterminasi sebelum matriksnya menguap. Hal ini sangat cocok digunakan dalam analisis unsur volatil seperti Pb dan Cd. Penggunaan gas argon sebagai *seath gas* (gas pelindung) dan *pyrotube* (*pyrolytically coated graphite tubes*) meningkatkan sensitifitas untuk banyak unsur. Berikut ini adalah Tabel 2.2 yang memuat limit deteksi dan kisaran konsentrasi optimum pada metoda dengan GrAAS (Hitachi High Technologies Corporation, 2006; APHA-AWWA-WEA, 1998).

Nilai *recovery* yang mendekati 100 % menunjukkan tiadanya pengaruh matriks sampel dalam analisis. Modifikasi matriks dilakukan bila ternyata terjadi gangguan dalam proses analisis dan diinginkan nya peningkatan sensitifitas. Modifikasi dilakukan dengan penambahan zat-zat aditif sesuai dengan jenis logam

yang menjadi target dan biasanya dipilih yang berharga murah (Csuros and Csuros, 2002; Quevauviller, 2002).



Tabel 2. 2. Limit deteksi dan kisaran konsentrasi optimum pada determinasi logam dengan GrAAS

Unsur	Panjang gelombang (nm)	Estimasi limit deteksi ( $\mu\text{g/L}$ )	Kisaran Konsentrasi optimum ( $\mu\text{g/L}$ )
Al	309,3	3	20-200
Sb	217,6	3	20-300
As	193,7	1	5-100
Ba	553,6	2	10-200
Be	234,9	0,2	1-30
Cd	228,8	0,1	0,5-10
Cr	357,9	2	5-100
Co	240,7	1	5-100
Cu	324,7	1	5-100
Fe	248,3	1	5-100
Pb	283,3	1	5-100
Mn	279,5	0,2	1-30
Mo	313,3	1	3-60
Ni	232,0	1	5-100
Se	196,0	2	5-100
Ag	328,1	0,2	1-25
Sn	224,6	5	20-300

Sumber: Csuros and Csuros (2002)

## 2.10. Prinsip kerja Spektrofotometer Ultra Violet-Visible (UV-Vis)

Spektrofotometer UV-Vis berbeda dengan GrAAS dimana instrumen GrAAS berkaitan dengan absorpsi oleh atom sedangkan Spektrofotometer *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis) berkaitan dengan absorpsi oleh molekul. Sifat absorpsi kedua materi tersebut sangat berbeda sehingga memerlukan teknik yang berbeda pula untuk mengukurnya. Absorpsi oleh molekul menyebabkan dua jenis perubahan energi elektronik (perubahan dalam energi elektron pada molekul) dan vibrasional (perubahan dalam jarak antar inti dua atau lebih atom dalam molekul). Transisi elektronik memerlukan lebih banyak energi dan terjadi dalam wilayah spektral

*visible-ultra violet* (tampak-lembayung). Perubahan vibrasional dalam molekul berasal dari absorbs radiasi infra merah yang berenergi rendah (Csuros and Csuros, 2002; APHA-AWWA-WEA, 1998). Instrumen spektrofotometer UV-Vis dalam penelitian ini digunakan untuk mendeterminasi klorofil-a dalam sampel air dari masing-masing situ.

Spektrofotometer UV-Vis didisain untuk pengukuran pada wilayah sinar violet dan *visible*. Beberapa instrument mengukur absorpsi pada 200-1000 nm. Untuk pengukuran dibawah 320 nm, instrument ini harus dilengkapi dengan sumber radiasi ultra violet yang umumnya berupa *deuterium discharge lamp* sedangkan untuk wilayah *visible* digunakan *tungsten filament lamp* (Csuros and Csuros, 2002).

Warna sebuah molekul dalam larutan tergantung pada panjang gelombang yang diserap. Jadi bila larutan sampel sebuah molekul disinari dengan cahaya putih, beberapa panjang gelombang akan diserap dan panjang gelombang sisanya diteruskan ke mata. Warna yang diterima mata ditentukan hanya oleh panjang gelombang yang ditransmisikan. Suatu zat menunjukkan warna yang komplementer terhadap panjang gelombang yang diabsorp. Spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi. Dalam alat ini energi radian pada kisaran panjang gelombang yang sangat sempit dipilih dari sebuah sumber dan dilewatkan pada larutan sampel yang disimpan dalam kuvet berbahan *quartz*. Bahan kimia dalam sampel kemudian mengabsorp beberapa *energy radiant* dan sisanya dilewatkan secara keseluruhan. Jumlah dari radiasi yang diabsorp pada panjang gelombang spesifik sebanding dengan konsentrasi bahan kimia (yang menyerap cahaya) yang terdapat dalam sampel tersebut (Csuros and Csuros, 2002).

Lampu filamen dari bahan *tungsten* adalah sumber cahaya yang umum untuk wilayah tampak (320-2500 nm) tapi umumnya tidak digunakan untuk dibawah 320-330 nm. Sedangkan untuk panjang gelombang yang lebih pendek (180-400 nm) digunakan lampu *deuterium*. Untuk memilih panjang gelombang monokromatik digunakanlah monokromator. Monokromator ini terdiri atas berturut-turut : *entrance slit* berfungsi untuk mengontrol cahaya yang masuk;

lensa atau cermin untuk melewatkan cahaya paralel; *dispersion device* untuk memilih cahaya pada panjang gelombang yang berbeda; lensa atau cermin untuk memfokuskan cahaya; *exit slit* untuk mengatur panjang gelombang cahaya yang memasuki kompartemen sampel.

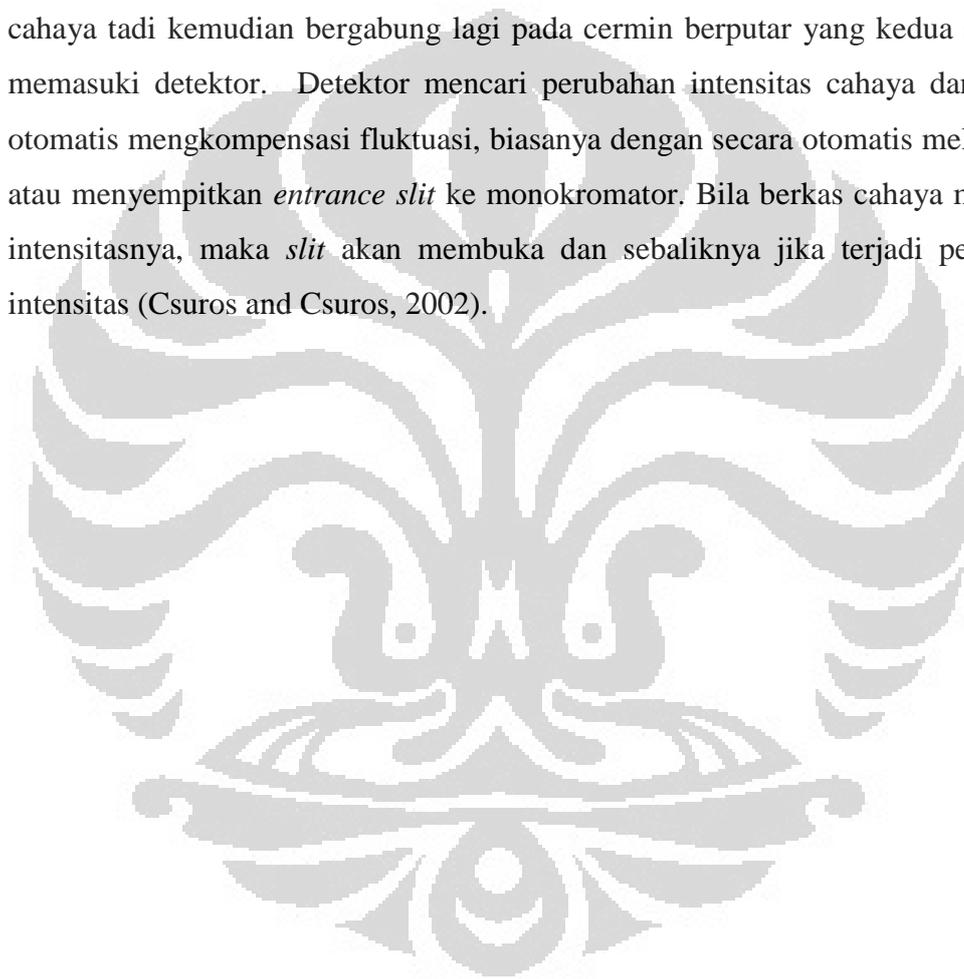
Kompartemen sampel adalah tempat dimana sampel disinari cahaya yang berasal dari monokromator. Larutan sampel ditempatkan dalam kuvet *quartz* yang transparan yang diketahui panjang dan lebar optikalnya. Kuvet ini harus diletakkan secara tetap dari waktu ke waktu terhadap *path length* sedemikian rupa sehingga sifat reflektif dan refraktif dalam area dimana cahaya tersebut lewat juga tetap. Jika hal ini tidak dipenuhi maka pengukuran absorbansi akan salah karena tidak menggambarkan perubahan konsentrasi. Pada saat tahap *men-zero*-kan instrument, gunakan kuvet yang berisi larutan blanko dan jangan pernah menggunakan kuvet kosong karena refleksi tambahan dari udara ke permukaan gelas akan mentransmisikan radiasi yang lebih sedikit dibandingkan yang ada isinya (Csuros and Csuros, 2002).

Detektor yang digunakan pada instrumen ini adalah *phototubes*, yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Umumnya terdiri atas katoda berbentuk setengah silinder dan anoda berbentuk kawat dalam sebuah tabung gelas. Karena katoda ini mengemisikan elektron maka *phototube* ini disebut juga *photoemissive tube*. Radiasi yang menghantam detektor membangkitkan arus listrik yang akan meningkat setelah melewati *amplifier* dan kemudian ditransmisikan ke *recorder* atau di *display* kan pada spektrofotometer secara digital. Pembacaan dapat diatur baik sebagai *transmittance* ataupun *absorbance*. Peralatan yang modern biasanya dilengkapi dengan *microprocessor* untuk mempercepat kinerja pengukuran alat (Csuros and Csuros, 2002).

Ada dua jenis instrumen spektrofotometer yang dikenal yaitu *single beam* dan *double beam*. Dalam instrument *single beam*, kinerjanya berdasarkan pada perubahan intensitas *single beam* pada cahaya. Semua energi dari sumber cahaya diarahkan langsung pada *sample cell*. Kekurangan sistem ini adalah adanya perubahan intensitas yang fluktuatif pada voltase aliran listrik, sumber listrik dan lampu, sehingga kesalahan dapat terjadi pada pembacaan. *Drift* pada intensitas

lampu *single beam* dapat dikontrol dengan mendisain sumber cahaya yang lebih stabil dan suplai listrik pada lampu dan memanaskan terlebih dulu lampu yang digunakan (Csuros and Csuros, 2002).

Dalam sistem *double beam*, optik tambahan digunakan untuk membagi cahaya dari lampu menuju ke *sample cell* dan menuju ke *reference cell* (blanko). Cahaya dari monokromator dibagi dua dengan memutar sebuah *chopper*. Pada saat cahaya melewati sampel, sementara saat berikutnya melewati blanko. Kedua berkas cahaya tadi kemudian bergabung lagi pada cermin berputar yang kedua sebelum memasuki detektor. Detektor mencari perubahan intensitas cahaya dan secara otomatis mengkompensasi fluktuasi, biasanya dengan secara otomatis melebarkan atau menyempitkan *entrance slit* ke monokromator. Bila berkas cahaya melemah intensitasnya, maka *slit* akan membuka dan sebaliknya jika terjadi penguatan intensitas (Csuros and Csuros, 2002).



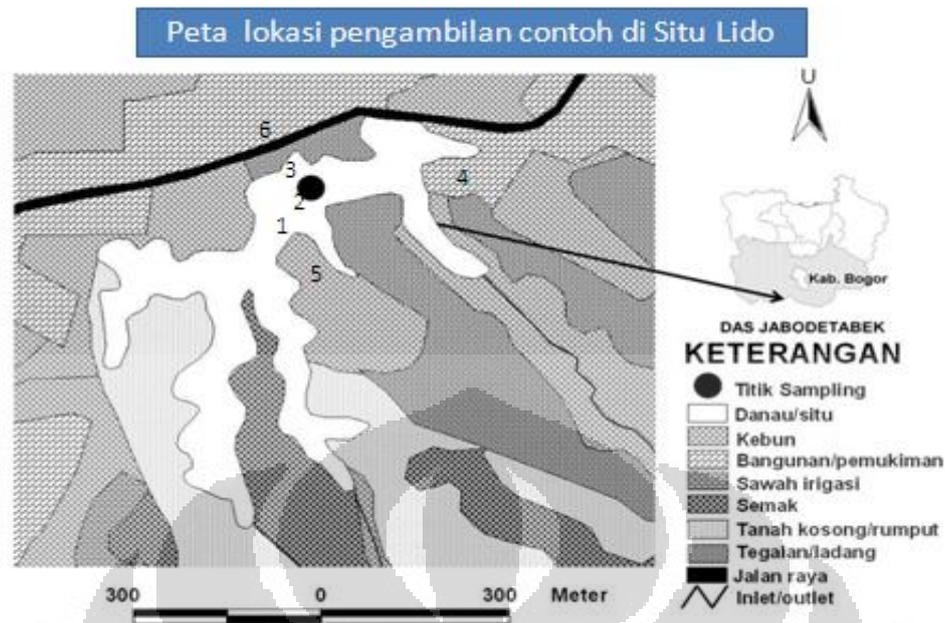
## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Deskripsi kelima lokasi pengambilan contoh dan waktu observasi

Lokasi pengambilan contoh adalah lima buah situ yang berada di sekitar wilayah Kabupaten Bogor. Kelima situ yang menjadi target penelitian ini adalah Situ Lido (Kecamatan Cijeruk), Situ Tonjong (Kecamatan Bojong Gede), Situ Cibuntu (Kecamatan Cibinong), Situ Cikaret (Kecamatan Cibinong) dan Situ Rawa Kalong (Kecamatan Cimanggis-Depok). Pengambilan contoh air, sedimen dan fitoplankton dilakukan dalam dua periode pengambilan yaitu 5-6 Oktober 2010 untuk pengambilan contoh periode pertama dan 10-11 November 2010 untuk pengambilan contoh periode kedua.

Menurut Chapman (1996) secara definitif, *point source* suatu bahan pencemar adalah input yang dapat dikaitkan terhadap *outlet* tunggal. Limbah perkotaan yang tidak diolah terlebih dahulu ataupun limbah yang tidak diolah secara layak adalah contoh umum dari *point source*. Sebaliknya definisi untuk *non point source* adalah input bahan pencemar yang sumbernya majemuk, misalnya air limpasan tanah pertanian, limpasan jalan raya perkotaan, tempat pembakaran sampah dan sebagainya. Pada Tabel 3.1-3.5 dan Gambar 3.1-3.6 berikut ini diperlihatkan deskripsi masing-masing situ.



Gambar 3. 1. Situ Lido dengan lokasi pengambilan contoh. Keterangan untuk angka 1 sampai 6 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

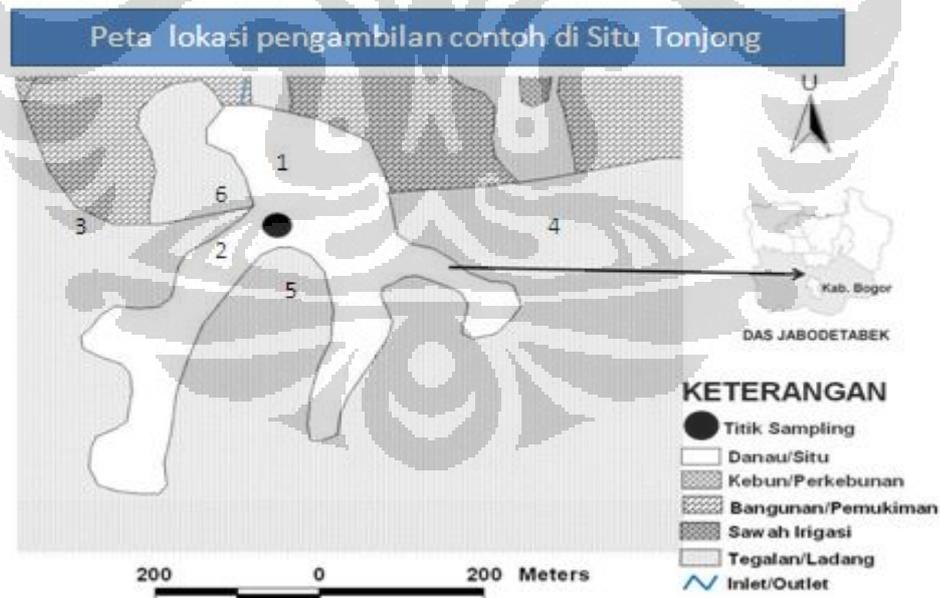
Tabel 3. 1. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Lido

Nama Perairan *)	Sumber pencemar potensial	Jarak **) (m)	Kategori sumber pencemar
Situ Lido	1. Ponton keramba apung ( $\pm$ 25 buah)	1,0	<i>Point source</i>
	2. Perahu motor	3,0	<i>Point source</i>
	3. Rumah makan terapung	100	<i>Point source</i>
	Jarak rerata	34,6	
	4. Perumahan	200	<i>Non point source</i>
	5. Kebun	300	<i>Non point source</i>
	6. Jalan raya padat lalu lintas	75,0	<i>Non point source</i>
	Jarak rerata	191,6	
	Jarak rerata dari semua sumber	113,1	

\*\*)  $\pm$  relatif dari titik pengambilan contoh (m); \*)GPS: *Global Positioning System* (S 6° 44' 31.06"E 106°48'42.50", altitude 482,7 meter) ; waktu

pengambilan contoh 09.27 WIB; luas area (A)= 16 ha (tahun 2010) dahulu 21 ha.

**Situ Lido** merupakan salah satu perairan situ yang populer di masyarakat sebagai tempat wisata air dan kuliner perikanan darat. Menurut keterangan penduduk setempat, ikan yang dibudidayakan dalam karamba apung dan jaring apung di sini adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*), ikan mas (*Cyprinus carpio*), ikan bawal air tawar (*Pampus argenteus*) dan ikan gurami (*Osphronemus gouramy* Lac). Pada Tabel 3.1 terlihat bahwa jumlah keramba apung sangat banyak di sekitar titik lokasi pengambilan contoh. Pengambilan contoh dilakukan dekat dengan beberapa sumber pencemar potensial (Gambar 3.1 dan Tabel 3.1) antara lain ponton keramba ikan dimana sebagian besar ponton ini terbuat dari drum dengan cat yang telah banyak mengelupas. Pada saat pengambilan contoh lalu lintas di jalan raya Sukabumi-Bogor sangat padat. Di perairan Situ Lido pun sedang banyak perahu motor yang digunakan untuk beraktifitas.



Gambar 3.2. Situ Tonjong dengan lokasi pengambilan contoh. Keterangan untuk angka 1 sampai 7 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

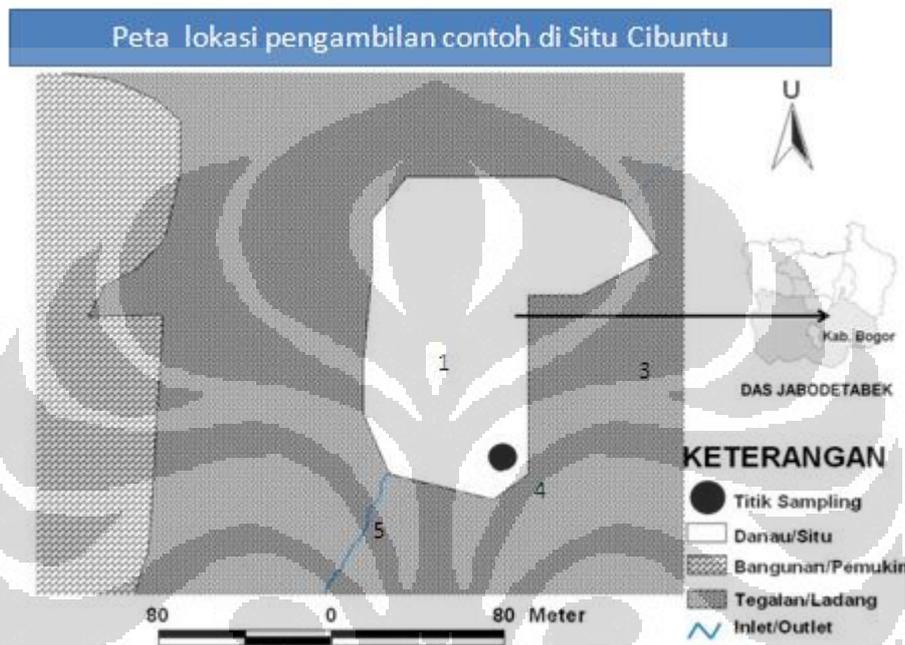
Tabel 3.2. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Tonjong

Nama Perairan *)	Sumber pencemar potensial	Jarak **)	Kategori sumber pencemar
Situ Tonjong	1. Ponton keramba apung (± 5 buah)	50,0	<i>Point source</i>
	2. Jaring apung	2,0	<i>Point source</i>
	Jarak rerata	26	
	3. Jalan raya padat lalu lintas	200	<i>Non point source</i>
	4. Perumahan	300	<i>Non point source</i>
	5. Kebun	75,0	<i>Non point source</i>
	6. Perumahan	20	<i>Non point source</i>
	7. Bengkel/ganti olie	500	<i>Non point source</i>
	Jarak rerata	219	
	Jarak rerata dari semua sumber	140,5	

\*\* ) ± relatif dari titik pengambilan contoh (m) ; \*)GPS: Global Positioning System (S 6° 29' 38.55"E 106°45'55.00", *altitude* 149,9 meter, waktu pengambilan contoh 13.30 WIB; luas area (A)= 15ha (thn 2010) dahulu 18 ha.

**Situ Tonjong**, dipilih karena banyak digunakan untuk wisata air dan pemancingan masyarakat. Beberapa keramba dan jaring apung juga tampak terlihat dengan diisi ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*), ikan sepat (*Trichogaster trichopterus*), ikan gabus (*Channa striata*), ikan patin Bangkok (*Pangasius sutchi*), ikan emas (*Cyprinus carpio*), udang galah (*Macrobrachium rosenbergii*) dan lobster air tawar (*Cherax quadricarinata*). Pengambilan contoh dilakukan pada posisi seperti tampak pada Gambar 3.2 dengan deskripsi seperti Tabel 3.2. *Non point source* yang

berupa bengkel ganti oli berjarak relatif 500 m dari titik pengambilan contoh sehingga tidak tergambar dalam Gambar 3.2. Menurut keterangan penduduk setempat, bengkel ini membuang limbahnya langsung ke saluran air yang diperkirakan terhubung dengan Situ Tonjong.



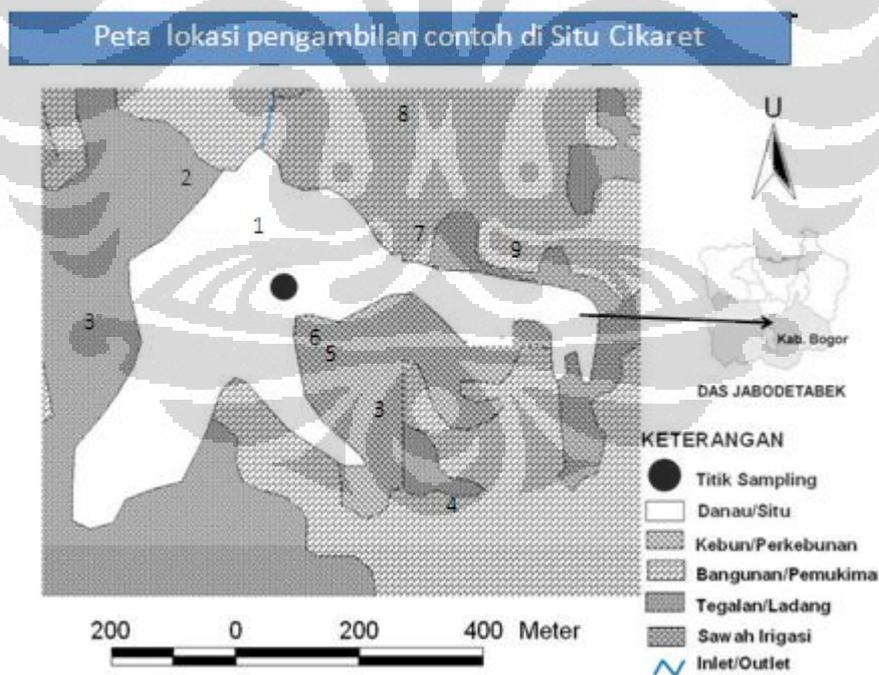
Gambar 3.3. Situ Cibuntu dengan lokasi pengambilan contoh. Keterangan angka 1 sampai 5 dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Situ Cibuntu yang berlokasi di *Life Science Center* Kompleks LIPI Cibinong meskipun berukuran paling kecil dan dangkal diantara semua situ yang diobservasi (Gambar 3.3 dan Tabel 3.3), sudah sejak lama digunakan masyarakat setempat untuk memenuhi kebutuhan harian protein mereka. Berbagai jenis biota banyak tumbuh liar di sini misalnya udang air tawar, ikan emas, ikan sepat, ikan gabus. Sekarang bahkan ditebarkan pula ikan grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) dan gurami (*Osphronemus gouramy*, Lac).

Tabel 3.3. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Cibuntu

Nama Perairan *)	Sumber pencemar potensial	Jarak **) (m)	Kategori sumber pencemar
Situ Cibuntu	1.Jaring apung	50,0	<i>Point source</i>
	Jarak rerata (m)	50	
	2.Jalan raya	200	<i>Non point source</i>
	3.perkantoran	30	<i>Non point source</i>
	4.Kebun	0,75	<i>Non point source</i>
	5.Penimbunan/pembakaran sampah	100	<i>Non point source</i>
	Jarak rerata (m)	101,25	
	Total Jarak rerata (m)	75,63	

\*\*) ± relatif dari titik pengambilan contoh (m) ; \*)GPS: Global Positioning System (S 6° 29' 28.93"E 106°51'5.87", altitude 148 meter, , waktu pengambilan contoh 15.30 WIB; luas area (A)= 15.834 m<sup>2</sup>



Gambar 3.4. Situ Cikaret dengan lokasi pengambilan contoh. Keterangan untuk angka 1 sampai 9 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Situ Cikaret juga banyak dimanfaatkan masyarakat sekitarnya untuk memenuhi kebutuhan akan ikan air tawar. Aktifitas penjalaan ikan, pemancingan dan pemasangan jaring apung banyak ditemukan di sini dan berdampingan dengan pariwisata air serta olah raga air (dayung). Latihan pendaratan kendaraan *amfibi* dari pasukan zenit TNI-AD juga sering dilakukan di Situ Cikaret. Lokasi pengambilan contoh dilakukan pada titik seperti yang disajikan dalam Gambar 3.4 dan Tabel 3.4.

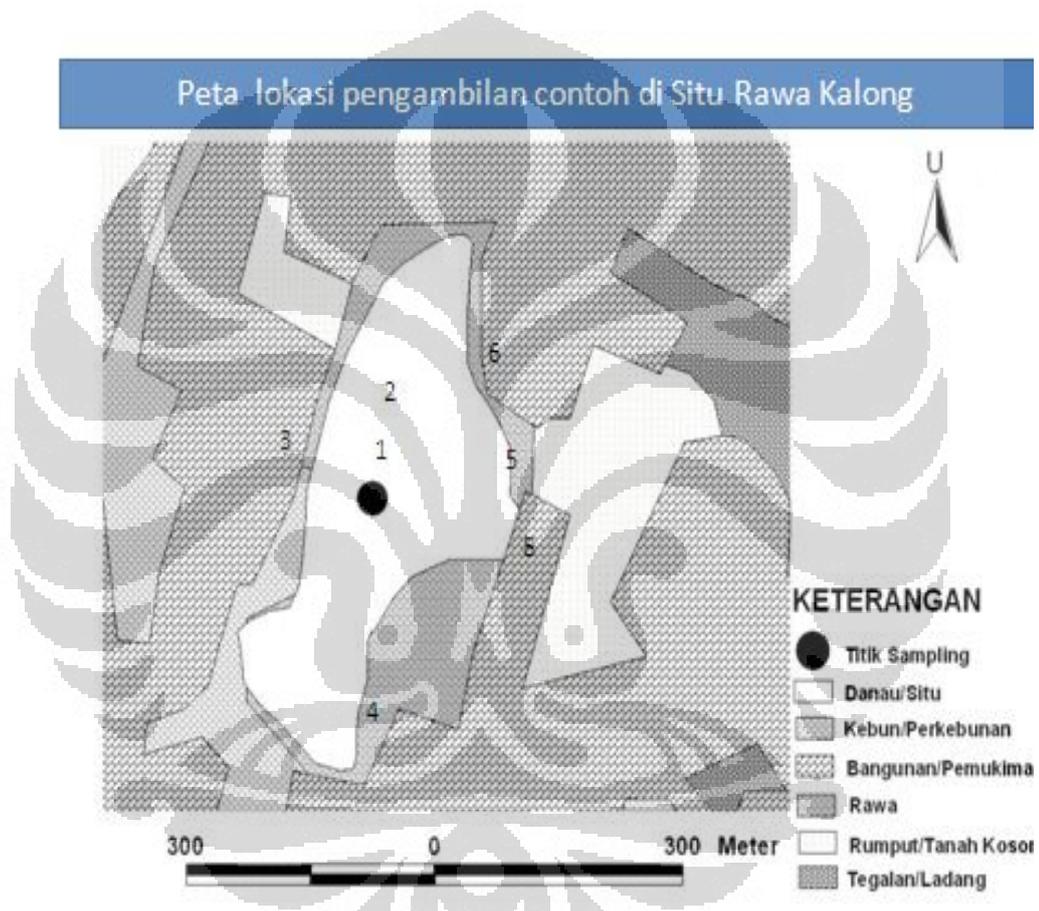
Tabel 3.4. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Cikaret

Nama Perairan *)	Sumber pencemar potensial	Jarak (**)	Kategori sumber pencemar
Situ Cikaret	1.Jaring apung	50,0	<i>Point source</i>
	Jarak rerata (m)	50,0	
	2.Jalan raya padat lalu lintas	200	<i>Non point source</i>
		300	<i>Non point source</i>
	3.Perkantoran/rumah makan	400	<i>Non point source</i>
		75	<i>Non point source</i>
	4.Rumah sakit	10	<i>Non point source</i>
	5.Kebun		
	6.Penimbunan/pembakaran sampah	200	<i>Non point source</i>
		500	<i>Non point source</i>
7.Perumahan		<i>Non point source</i>	
8.industri rumahan ( <i>home industry</i> )	300		
9. Pabrik /pengelasan tabung gas	191,34		
	120,67		
Jarak rerata (m)			
Total Jarak rerata (m)			

\*\* )  $\pm$  relatif dari titik pengambilan contoh (m) ; \*)GPS: Global Positioning System (S 6° 28' 4.80"E 106°50'13.20", *altitude* 126 meter, waktu pengambilan contoh 13.30 WIB; luas area (A)= 25 ha

Situ Rawa Kalong adalah situ yang terbukti paling banyak menerima input logam berat berdasarkan penelitian tahun 2009 bila dibandingkan dengan Situ Tonjong dan Situ Lido. Situ Rawa Kalong sudah lama dikenal sebagai

penghasil produk perikanan darat yang digemari. Masyarakat menangkap udang air tawar, ikan emas, sepat, gabus yang hidup liar. Di keramba kayu dan jaring apung masyarakat membudidayakan ikan mujair, sepat, gabus, patin dan ikan emas . Gambar 3.5 dan Tabel 3.5 menunjukkan posisi dimana contoh diambil saat observasi terhadap situ ini dilakukan, posisi ini sama dengan posisi dimana contoh diambil pada penelitian tahun 2009 (Awalina-Satya, 2009).



Gambar 3.5. Situ Rawa Kalong dengan lokasi pengambilan contoh keterangan angka 1 sampai 9 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Deskripsi lokasi pengambilan contoh di Situ Rawa Kalong

Nama Perairan *)	Sumber pencemar potensial	Jarak **) (m)	Kategori sumber pencemar
Situ Rawa kalong	1.Jaring apung	5,0	<i>Point source</i>
	2.Keramba apung	20	<i>Point source</i>
	Jarak rerata	12,5	
	3.Pabrik berbasis kimia (sebanyak 5 buah)**)	50	
	4.Kebun	30	<i>Non point source</i>
	5.Penimbunan/pembakaran sampah	30	<i>Non point source</i>
	6.Perumahan	300	<i>Non point source</i>
	7.Jalan raya	100	<i>Non point source</i>
	Jarak rerata	102	<i>Non point source</i>
	Total Jarak rerata	57,25	<i>Non point source</i>

\*) ± relatif dari titik pengambilan contoh (m) ; GPS: Global Positioning System (S S 6° 23' 45.06"E 106°53'31.02", *altitude* 137 meter, waktu pengambilan contoh 09.36 WIB; luas area (A)= 8,25 ha \*\*)salah satunya industri *electroplating*

### 3.2. Bahan Kimia dan Bahan Aus

Bahan kimia untuk keperluan di lapangan meliputi *demineralized water*, HNO<sub>3</sub> pekat, dan larutan Lugol 1 %. Bahan aus yang digunakan di lapangan adalah botol contoh air berbahan *polyethilen* volume 250 mL, kantong plastik untuk wadah contoh sedimen ukuran 10x10 cm, botol plankton untuk identifikasi volume 10 mL, botol plankton untuk konsentrat biomasa plankton volume 20 mL, kertas tisu, *aluminium foil*, spidol *marker*, kertas label, *cool box* dan lakban.

Bahan kimia untuk analisis di laboratorium adalah *Demineralized water*,  $\text{HNO}_3$  pekat (sp.gr.1.42),  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 %, Larutan stock Pb 1000 mg/L (yaitu  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dalam  $\text{HNO}_3$  0,5 mol/L), Larutan stock Cd 1000 mg/L (yaitu  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  dalam  $\text{HNO}_3$  0,5 mol/L), *Certified Reference Material* (CRM) BCR-414-Plankton, *Certified Reference Material* (CRM) LGC 618-sediment, gas Argon UHP,  $\text{CaCO}_3$  anhidrat, HCl pekat (sp.gr. 1,19), *Eriochrome Black T* (garam Na dari 1-(1-hidroksi-2-naftilazo)-5-nitro-2-naftol-4-asam sulfonat), garam Mg-EDTA, HCl 0,1 N, larutan  $\text{MgCO}_3$  jenuh dan larutan Aseton 90%.

Bahan aus yang digunakan di laboratorium terdiri atas kertas tisu, aneka ukuran kertas label, *Pyrotube cuvette* HR Part No. 7J0-8880, kertas saring Whatman GF/C *grade* (*pore size* 0,7  $\mu\text{m}$ ) berdiameter 5 cm, kertas saring Whatman no.42 (*pore size* 0,42  $\mu\text{m}$ ) berdiameter 5 cm, *latex gloves* dan kertas saring kasar.

### **3.3. Instrumen analisis**

Instrumen analisis yang digunakan ada tiga jenis yaitu:1) instrumen yang digunakan di lapangan,2) instrumen yang digunakan dalam preparasi di laboratorium sebelum masuk ke proses pengukuran dengan instrument GrAAS, dan 3) instrumen yang digunakan untuk mengkuantifikasi analit logam dan klorofil-a. Rincian dari peralatan yang digunakan dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut:

### 3.3.1. Instrumen pengukuran di lapangan

Tabel 3.6. Instrumen untuk observasi di lapangan

No	Nama alat	Difungsikan untuk
1	Plankton net No.25 ( <i>mesh size</i> 63 $\mu\text{m}$ /nano plankton)	Filterisasi contoh plankton
2	<i>Ekman Grabb</i>	Pengambilan contoh sedimen
3	<i>Water quality checker</i> Horriba U-10	Pengukuran parameter kimia fisika perairan (lihat 3.4.1)
4	<i>DO meter YSI Inc-Yellow spring-Ohio</i>	Pengukuran Oksigen terlarut
5	<i>Global Positioning System</i> (GPS) navigation system Super spring SF 410B	Penentuan posisi titik pengambilan contoh
6	<i>Snatch bottle water sampler</i>	Pengambilan contoh air
7	Tali berskala senti meter (cm)	Pengikat <i>Secchi disk</i> , <i>bottle water sampler</i> dan <i>Ekman Grabb</i>
8	Meteran	Pengukuran terhadap jarak
9	<i>Secchi-disk</i>	Pengukuran kedalam <i>Secchi</i>

### 3.3.2. Instrumen pendukung dalam preparasi

Setelah contoh diperoleh dari lapangan, contoh harus dipreparasi terlebih dulu agar siap untuk dilakukannya analisis Pb dan Cd dalam berbagai matriks sample yaitu di air (total, terlarut dan partikulat), total Pb dan Cd di sedimen, dan kandungan klorofil-a di perairan. Kandungan kedua logam berat dalam berbagai matriks contoh dilakukan dengan instrumen GrAAS sementara klorofil a menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Peralatan laboratorium untuk preparasi contoh seperti yang tersaji dalam Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Instrumen untuk proses preparasi contoh di laboratorium

No	Nama alat	Difungsikan untuk
1	<i>Vacuum suction apparatus</i> Tokyo Rikakikai Co type A-3S	Filtrasi contoh air, partikulat dan biomasa fitoplankton
2	<i>Oven</i> Eyela NDO-450N Tokyo Rikakikai Co	Pengeringan contoh, pengukuran kadar air
3	Neraca analitik Ohaus (110 g±0,0001 g)	Penimbangan contoh
4	<i>Desiccators</i>	Penghilangan kelembapan
5	<i>Automatic High Pressure Steam sterilizer</i> (Autoclave) model S-90 speedclave	Proses digesti contoh
6	<i>Sealpette Jencon automatic micro pipette</i> 0,5µL-10 µL,	Pencuplikan larutan
7	Eppendorf <i>automatic micro pipette</i> 10µL-100 µL	Pencuplikan larutan
8	Socorex <i>automatic micro pipette</i> 100µL-1000 µL	Pencuplikan larutan
9	<i>Pyrex digester vessels</i> No.18, ( <i>Pyrex tube with Teflon coated screw capped, maximum capacity 25 mL</i> ),	Pencuplikan larutan
10	Pipet Mohr volume : 1 mL, 5 mL, 10 mL, 25 mL	Pencuplikan larutan
11	<i>Macro Pipette controller</i>	Pencuplikan larutan
12	Labu ukur klas A volume : 10 mL, 25 mL, 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL, 1000 mL,	Peneraan volume larutan
13	Gelas piala volume : 50 mL 100 mL	Proses pelarutan/filtrasi
14	<i>Ceramide crucible</i> ,	Pengeringan contoh
15	Tabung reaksi dan rak tabung,	Wadah contoh yang telah

16	<i>Maxi Mix II mixer</i> Barnstead Thermolyne type 37600.	terdigest Homogenisasi contoh yang telah berbentuk larutan
17	Pyrex digester vessels No.24. ( <i>Pyrex tube with Teflon coated screw capped, maximum capacity 50 mL</i> ),	Homogenisasi contoh yang telah berbentuk larutan
18	Sentrifusa CN-10 Iuchi	Sentrifugasi sampel klorofil-a

### 3.3.3. Instrumen untuk penentuan konsentrasi logam dan klorofil

#### a

Analisis konsentrasi logam dan klorofil dilakukan dalam Laboratorium Hidrokimia Puslit Limnologi-LIPI. Penentuan konsentrasi logam dilakukan dengan *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer* (GrAAS) Hitachi Model Z-2700 yang diintegrasikan dengan *autosampler* (dengan kapasitas 60 sampel dengan volume setiap *container* 1,5 mL dan *dust proof cover*. Kondisi analitik yang diberlakukan pada analisis Cd dan Pb sesuai dengan Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 sebagai berikut :

Tabel 3.8. Kondisi analitik untuk analisis Cd

Arus lampu	7,5 mA	Program untuk suhu			
$\lambda$	228,8 nm	Tahap	Suhu °C		Waktu (detik)
<i>Slit</i>	1,3 nm		Awal	Akhir	<i>Ramp</i> <i>Hold</i>
<i>Cuvette</i>	Pyrotube	1. Pengeringan	80	140	40
	HR				
<i>Carrier gas</i>	30	2. Pengabuan	300	300	20
	mL/menit				
Volume	20 $\mu$ L	3. Atomisasi	1500	1500	5
contoh		4. <i>Cleaning</i>	1800	1800	4

Sumber: *Hitachi High-Technologies Corp.*2006

Tabel 3.9. Kondisi analitik untuk analisis Pb

Arus lampu	7,5 mA	Program untuk suhu				
		$\lambda$	Tahap	Suhu °C		Waktu (detik)
<i>Slit</i>	1,3 nm		Awal	Akhir	<i>Ramp</i>	<i>Hold</i>
<i>Cuvette</i>	<i>Pyrotube</i>	1. Pengeringan	80	140	40	
	HR					
<i>Carrier gas</i>	30	2. Pengabuan	600	600	20	
mL/menit						
Volume	20 $\mu$ L	3. Atomisasi	2400	2400	5	
contoh		4. <i>Cleaning</i>	2700	2700	4	

Sumber: *Hitachi High-Technologies Corp.* 2006

Pengoperasian alat ini di Puslit Limnologi-LIPI diamankan (pasokan listriknya) dengan dukungan *Uninterruptable Power Supply* (UPS) ICA S/N 5100 C3. Koreksi *background* menggunakan metoda *simultaneous Zeeman* (*Hitachi High-Technologies corp.*, 2006).

Determinasi klorofil-a, dilakukan dengan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1201 dilengkapi dengan kuvet kuarsa). Kisaran panjang gelombang ( $\lambda$ ) 200-1100 nm. Dengan sistem optik *double beam*. Kisaran absorbans -0,3 sampai 3,0. Kisaran transmitansi 0 sampai 200 %. Reprodusibilitas  $\lambda$  adalah +/-0,3 nm dengan akurasi  $\lambda$  +/- 1nm.

Identifikasi jenis dan kelimpahan fitoplankton pada penelitian ini dilakukan dengan mikroskop *Compound Inverted Diaphot 300* dengan *mechanical stage* yang mampu menggerakkan semua bagian untuk menghitung sel pada lensa *objective*. Perlengkapan standar di atur pada 10x atau 12,5x okuler dan obyektif pada 10x,20x, 40x dan 100x. Pada penelitian ini dilakukan pembesaran sampai 400 x.

### **3.4. Pengambilan contoh dari kelima buah situ**

Pada masing-masing perairan situ dilakukan pengukuran parameter kimia dan fisika perairan secara *in situ* (langsung di lapangan) pada setiap titik pengambilan contoh. Kemudian dilakukan pengambilan contoh air pada 1) bagian permukaan (kedalaman 0 meter), 2) kedalaman *Secchi* dan 3) bagian dasar perairan. Contoh air ini disimpan dalam dua botol polietilen masing-masing bervolume 250 mL untuk determinasi Pb, Cd, kesadahan total dan klorofil a. Pengambilan contoh fitoplankton dilakukan pada bagian permukaan dan kedalaman *Secchi* karena berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan pada ketiga strata tersebut ternyata pada bagian kedalaman *Secchi* lah fitoplankton paling banyak dijumpai. Pengambilan contoh sedimen dilakukan pada bagian terdalam setiap titik pengambilan contoh. Secara rinci digambarkan sebagai berikut:

#### **3.4.1. Pengukuran parameter kimia fisika perairan**

Parameter kimia dan fisika perairan yang dimaksud di sini terdiri atas pH, suhu perairan, turbiditas (kekeruhan), konduktifitas perairan dan oksigen terlarut. Hanya DO yang diukur dengan *DO meter YSI-Yellow spring Instrument*, Ohio. Parameter lainnya diukur dengan *Water Quality Checker (WQC) Horiba U-10*, Kyoto. Pengukuran dilakukan dalam enam kali pembacaan dan data kemudian disajikan sebagai nilai rerata. Kedalaman *Secchi* diukur dengan cara menurunkan piringan *Secchi* sampai pada kedalaman dimana permukaan piringan tersebut mulai terlihat dan mulai hilang. Nilai kedalaman adalah rerata dari dua data tersebut. Pengukuran kedalaman maksimum dengan meteran yang dilekatkan sedemikian rupa pada *Ekman Grab* juga dilakukan bersamaan dengan penentuan posisi dengan *Global Positioning System (GPS) Multimedia Navigation System Super Spring SF410B*.

#### **3.4.2. Pengambilan contoh air**

Contoh air diambil pada permukaan dengan cara membenamkan botol contoh bervolume 250 mL, sementara untuk mengambil contoh air pada kedalaman *Secchi* dan kedalaman maksimum di setiap situ diambil dengan menggunakan *Snatch Bottle Water Sampler* yang dilengkapi dengan tali berskala pada setiap strata. Contoh air disimpan dalam botol polietilen bervolume 250 mL dan dimasukkan dalam *cool box* berisi es batu selama perjalanan. Sesampainya di laboratorium, dilakukan penyaringan contoh dengan kertas saring *Whatman* No 42 untuk penentuan logam partikulat dan terlarut. Semua contoh air disimpan dalam *refrigerator* bersuhu 4 °C.

### **3.4.3. Pengambilan contoh sedimen**

Contoh sedimen permukaan pada dasar perairan diambil dengan menggunakan *Ekman Grab* untuk setiap titik pengambilan contoh. *Ekman Grab* ini dilengkapi dengan tali berskala. Hasil "*grab*" kemudian diaduk dalam sebuah ember kemudian dicuplik dan disimpan dalam kantong plastik berlabel nama lokasi perairan situ dan tanggal pengambilan contoh.

### **3.4.4. Pengambilan contoh komunitas fitoplankton**

Contoh komunitas fitoplankton dikonsentrasikan dengan Plankton Net No.25 (*mesh size* 63 µm) diambil dengan dua tujuan yaitu untuk identifikasi jenis dan kelimpahan fitoplankton yang di simpan dalam botol fitoplankton bervolume 10 mL. Contoh fitoplankton dalam botol 20 mL digunakan untuk analisis Pb dan Cd dalam biomasa fitoplankton. Masing-masing contoh tersebut ditetesi larutan Lugol 1% sebagai pengawet sampai sampel berwarna seperti teh. Pengambilan contoh konsentrat fitoplankton pada setiap lokasi pengambilan contoh dilakukan dari dua kedalaman yaitu permukaan (0 meter) dan kedalaman *Secchi* sesuai dengan lokasi perairan situ.

### **3.5. Analisis contoh di laboratorium**

Keseluruhan proses analisis laboratorium mulai dari preparasi dan pengukuran dengan instrumen analisis dilakukan di Laboratorium Hidrokimia dan Laboratorium Pengendalian Pencemaran Puslit Limnologi-LIPI. Kecuali analisis untuk analit logam Pb dan Cd dalam berbagai matriks contoh, determinasi total kesadahan, klorofil-a, identifikasi jenis dan kelimpahan plankton dilakukan menurut APHA-AWWA-WEA (1998).

### **3.5.1. Preparasi contoh air untuk analisis logam (Pb dan Cd)**

Contoh air bervolume 250 mL dipreparasi untuk analisis 1) Total logam, 2) logam terlarut dan 3) logam dalam bentuk partikulat. Tujuan dari tahap preparasi ini adalah agar contoh tersebut siap untuk diukur kandungan Pb dan Cd nya dengan GrAAS. Metoda preparasi dilakukan berdasarkan metoda yang telah dikembangkan secara *in house* yaitu adopsi metode dari Veinott and Sjare (2006) dan ASTM (2002), metode ini disesuaikan dengan kondisi laboratorium di lingkungan P2L-LIPI dengan verifikasi menggunakan CRM yang sesuai dengan matriks contoh yang dianalisis. Verifikasi hasil pengukuran ini penting dilakukan agar hasil analisa yang diperoleh dapat dibandingkan dengan hasil yang diperoleh peneliti lainnya (Quevauviller, 2002).

#### **Total logam:**

Sebanyak 10 mL masing-masing sampel air diambil dan dimasukkan kedalam *digester vessel* No. 18 kemudian diletakkan dalam *fume hood* dan ditambahkan 5 mL HNO<sub>3</sub> pekat. Larutan dibiarkan sampai tidak ada lagi reaksi, kemudian ditutup dan dimasukkan ke dalam *autoclave* bersama dengan beberapa larutan standard dan larutan kontrol. *Autoclave* di jalankan pada tekanan 15 Psig dan suhu 120 °C selama 30 menit. Hal yang sama juga dilakukan terhadap blangko dengan menggunakan aqua demineralisasi. Setelah proses digest selesai, sampel beserta yang lain

didinginkan pada suhu ruang dan disaring kemudian diencerkan dan ditepatkan dalam labu ukur 25 mL, dan selanjutnya sampel siap di analisis kandungan logamnya dengan GrAAS

### **Kandungan Logam Terlarut dan Logam dalam Partikulat.**

Sekitar 50 – 100 mL sample air di saring dengan pompa vakum dengan kertas saring Whatman no 42 yang telah diketahui massanya. Filtrat yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk analisa kandungan logam terlarut, sedangkan residu digunakan untuk analisa kandungan logam partikulat.

Filtrat yang didapat di ambil sebanyak 10 mL dan sebelum dianalisa kandungan logamnya, sampel tersebut dipreparasi seperti pada preparasi sampel air untuk analisa kandungan total logam sebelumnya. Residu yang terdapat pada kertas saring didiamkan di udara selama semalam, kemudian ditimbang untuk mengetahui bobot basahnya. Sampel residu dikeringkan dalam oven pada suhu 104°C selama 2 jam, untuk mendapatkan kadar air, residu kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang sampai bobotnya konstan (disebut sebagai sampel logam partikulat). Residu kering dimasukkan ke dalam *digester vessel* No 24 kemudian ditambahkan berturut-turut *demineralized water* 5 mL, 10 mL HNO<sub>3</sub> pekat dan 3 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30 % dan diamkan dalam *fume hood* sampai reaksi selesai. Kemudian tabung di tutup dan dimasukkan ke dalam otoklaf bersama dengan larutan standar dan kontrol. Otoklaf dijalankan pada 15 Psig dan suhu 120 °C selama 45 menit. Setelah selesai, sampel didinginkan pada suhu ruang, kemudian masukkan ke dalam labu ukur 25 mL dan encerkan dengan aqua demin sampai tanda batas, dan sampel siap dianalisis kandungan logamnya dengan GrAAS.

### **3.5.2. Preparasi contoh sedimen**

Contoh sedimen dari lapangan dan CRM LGC-6187- *sediment* dicuplik sebanyak ± 1,0 gram, kemudian dikeringkan pada suhu ruangan selama 3x 24 jam. Sebanyak 10 gram sampel sedimen dikeringkan selama tiga

hari, dihaluskan dengan mortar dan disaring dengan *sieve* berukuran 63  $\mu\text{m}$ . Sedimen kering  $\pm 0,3000$  gram kemudian ditimbang sampai massanya konstan (bobot basah), kemudian dikeringkan pada suhu 104 °C dalam oven selama 2 jam dan didinginkan dalam desikator untuk menentukan kadar airnya (disebut sebagai sampel partikulat kering). Sampel dimasukkan ke dalam tabung *digester* No. 24, ditambahkan berturut-turut sebanyak 5 mL *demineralized water*, 10 mL  $\text{HNO}_3$  pekat dan 5 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 %, lalu dibiarkan dalam *fume hood* sampai reaksi selesai. Kemudian tabung ditutup dan dimasukkan ke dalam otoklaf bersama dengan larutan standard dan blanko (aqua demin) kemudian otoklaf dijalankan pada tekanan 15 Psig dan suhu 25 °C selama 45 menit. Setelah proses *digest* selesai semua larutan didinginkan pada suhu ruang, disaring dan diencerkan dengan aqua demin dan ditepatkan di dalam labu ukur 25 mL. Selanjutnya sampel siap untuk analisis kandungan logam dengan GRAAS.

### **3.5.3. Preparasi contoh komunitas fitoplankton**

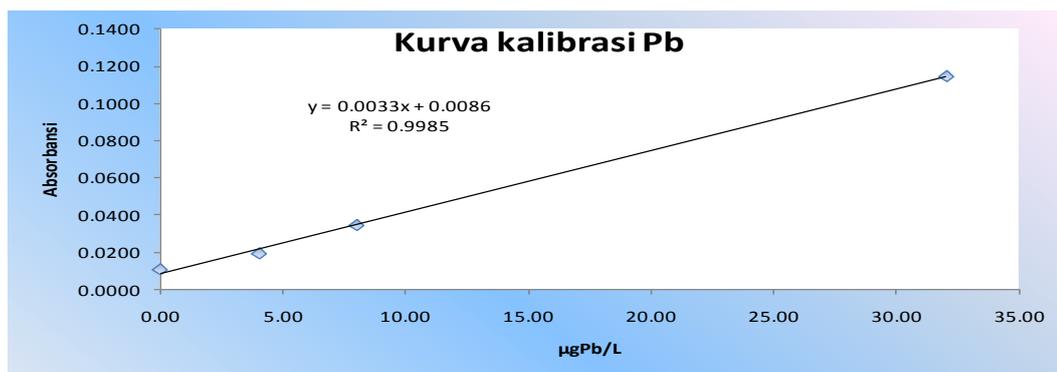
Sekitar 50 – 100 mL sampel air di saring dengan pompa vakum dengan kertas saring Whatman GF/C yang telah diketahui massanya. Residu yang terdapat pada kertas saring didiamkan di udara selama semalam, kemudian ditimbang untuk mengetahui bobot basahnya. Sampel residu dikeringkan dalam oven pada suhu 104°C selama dua jam, untuk mendapatkan kadar air, residu kemudian didinginkan dalam desikator dan timbang sampai bobotnya konstan (disebut sebagai sample logam fitoplankton). Residu kering dimasukkan ke dalam *digester vessel* No 24 kemudian ditambahkan berturut-turut sebanyak 5 mL *demineralized water* 10 mL  $\text{HNO}_3$  pekat dan 5 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 % dan diamkan dalam *fume hood* sampai reaksi selesai. Kemudian tabung di tutup dan dimasukkan ke dalam otoklaf bersama dengan larutan standar dan kontrol. Otoklaf

dijalankan pada 15 Psig dan suhu 120 °C selama 45 menit. Setelah selesai, sampel didinginkan pada suhu ruang, kemudian masukkan ke dalam labu ukur 25 mL dan encerkan dengan aqua demin sampai tanda batas dan sampel siap dianalisis kandungan logamnya dengan GrAAS.

#### **3.5.4. Preparasi deret Standard Pb dan Cd**

##### **Larutan Standar Pb**

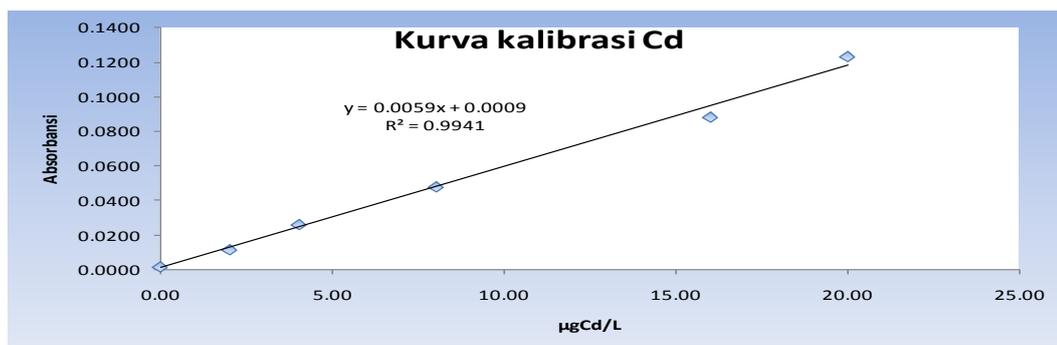
Sebanyak 100  $\mu\text{L}$  larutan *stock* Pb (1.000 mg/L) diambil dengan menggunakan mikro pipet otomatis dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan 1 tetes  $\text{HNO}_3$  pekat dan diencerkan sampai batas dengan aqua demin (larutan *intermediate* 1 = 1.000  $\mu\text{g/L}$ ). Selanjutnya, sebanyak 5 mL larutan *intermediate* 1 (1.000  $\mu\text{g/L}$ ) dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian ditambahkan 1 tetes  $\text{HNO}_3$  pekat dan diencerkan sampai batas dengan aqua demin (larutan *intermediate* 2 = 100  $\mu\text{g/L}$ ). Kemudian dibuat larutan standar, 0 ; 4 ; 8 ; 16 ; 20 ; dan 32  $\mu\text{g/L}$ , dengan cara mengambil larutan *intermediate* 2 berturut-turut sebanyak 0 ; 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 4,0 ; 5,0 ; dan 8,0 mL (standar 1 – 6) dan dimasukkan ke dalam digester vessel No 18, kemudian masing-masing ditambahkan 5 mL aquademin. Larutan kontrol (8  $\mu\text{g/L}$ ) dibuat dari larutan *intermediate* 2, dan larutan blanko dibuat dari aquademin yang dicuplik sebanyak 10 mL. Kemudian tabung di tutup dan dimasukkan ke dalam otoklaf bersama dengan larutan blanko, larutan sampel dan larutan kontrol. Otoklaf dijalankan pada 15 Psig dan suhu 120° C selama 45 menit. Setelah selesai, larutan digestat ini didinginkan pada suhu ruang, kemudian masukkan ke dalam labu ukur 25 mL dan encerkan dengan aqua demin sampai tanda batas, dan larutan ini siap dianalisis kandungan logamnya dengan GrAAS.



Gambar 3. 6. Kurva kalibrasi Pb sebagai basis pengukuran yang dibuat dari deret standar larutan Pb

### Larutan Standar Cd

Sebanyak 100 µL larutan *stock* Cd (1.000 mg/L) diambil dengan menggunakan mikro pipet otomatis dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan 1 tetes HNO<sub>3</sub> pekat dan diencerkan sampai batas dengan aqua demin (larutan *intermediate* 1 = 1.000 µg/L). Selanjutnya, sebanyak 5 mL larutan *intermediate* 1 (1.000 µg/L) dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian ditambahkan 1 tetes HNO<sub>3</sub> pekat dan diencerkan sampai batas dengan aqua demin (larutan *intermediate* 2 = 100 µg/L). Kemudian dibuat larutan standar: 0 ; 2 ; 4; 8 ; 16 dan 20 µg/L, dengan cara mengambil larutan *intermediate* 2 berturut-turut sebanyak 0 ; 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 4,0 dan 5,0 mL (standar 1 – 6) dan dimasukkan ke dalam digester vessel No 18, kemudian masing-masing ditambahkan 5 mL aquademin. Larutan kontrol (8 µg/L) dibuat dari larutan *intermediate* 2, dan larutan blanko dibuat dari aquademin yang dicuplik sebanyak 10 mL. Kemudian tabung di tutup dan dimasukkan ke dalam otoklaf bersama dengan larutan blanko, larutan sampel dan larutan kontrol. Otoklaf dijalankan pada 15 Psig dan suhu 120° C selama 45 menit. Setelah selesai, larutan digestat ini didinginkan pada suhu ruang, kemudian masukkan ke dalam labu ukur 25 mL dan encerkan dengan aqua demin sampai tanda batas, dan larutan ini siap dianalisis kandungan logamnya dengan GrAAS.



Gambar 3.7. Kurva kalibrasi Cd sebagai basis pengukuran yang dibuat dari deret standar larutan Cd

### 3.5.5. Analisis Logam Pb dan Cd dengan Gr AAS

Pengoperasian instrumen Gr-AAS dan verifikasi data hasil analisis dilakukan menurut prosedur untuk pemakaian (*manual*) GrAAS Hitachi Model Z-2700 series dengan pengkondisian seperti pada Tabel 3.8 untuk logam Cd dan 3.9 untuk logam Pb. Pengukuran terhadap kedua analit logam dilakukan dengan *plotting* terhadap kurva kalibrasi untuk masing-masing logam yaitu seperti pada Gambar 3. 6 untuk logam Pb dan Gambar 3.7 untuk logam Cd.

### 3.5.6. Analisis Klorofil-a

Ekstraksi : Sebanyak 25 mL sample air disaring dengan pompa vakum dengan kertas saring Whatman GF/C. Residu yang terdapat pada kertas saring kemudian dimasukkan dalam tabung sentrifus lalu direndam dengan 2-3 mL larutan aseton 90 % dan disentrifuse pada 500 rpm selama satu menit. Kemudian contoh tadi diigerus dalam *tissue grinder* berdasar bulat. Contoh kemudian dipindahkan ke tabung sentrifuse bertutup ulir, *tissue grinder* dibilas dengan larutan aseton 90%, volume total diatur sedemikian rupa sehingga sekitar 10 mL. Contoh didiamkan selama 2 jam pada ruang gelap. Setelah itu disentrifusa pada 500 rpm selama 20 menit hingga diperoleh larutan jernih, lalu dilakukan dekantasi. Volume larutan jernih ini kemudian dicatat.

*Pengukuran dengan spectrometer UV-Vis:* Dipindahkan 10 mL ekstrak ke dalam kuvet 1 cm dan diukur kepadatan optiknya (*Optical Density*, OD) pada panjang gelombang berturut-turut 750, 664,647 dan 630 nm. Dilakukan pengenceran bila perlu agar diperoleh OD berkisar 0,1 dan 1.

Hasil pembacaan absorbansi pada empat panjang gelombang 664,647 dan 630 tersebut diatas menghasilkan data konsentrasi klorofil a,b dan c. OD pada panjang gelombang 750 nm adalah koreksi terhadap turbiditas. Hasil setiap pembacaan OD pada setiap panjang gelombang tersebut kemudian dihitung untuk menentukan kandungan klorofil-a sebagai berikut:

$$C_a = 11,85 (OD_{664}) - 1,54 (OD_{647}) - 0,08(OD_{630})$$

Dimana  $C_a$  adalah konsentrasi korofil-a (mg/L) yang diperoleh dari nilai OD yang dikoreksi

OD<sub>664</sub>, OD<sub>647</sub> dan OD<sub>630</sub> adalah OD pada *light path* 1 cm yang dikoreksi pada masing-masing panjang gelombang

Jumlah pigmen klorofil-a per unit volume kemudian dihitung dengan persamaan:

$$\text{Klorofil - a, } \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = \frac{C_a \times \text{volume ekstrak (L)}}{\text{volume contoh (m}^3\text{)}}$$

### 3.5.7. Analisis Kesadahan Total

Larutan :

*Larutan buffer:* 16,9 gram NH<sub>4</sub>Cl dilarutkan dalam 143 mL NH<sub>4</sub>OH pekat. Lalu ditambahkan 1,25 gram garam Mg-EDTA dan diencerkan hingga 250 mL dengan aquadest. Kemudian larutan tadi disimpan dalam botol amber yang tertutup rapat, jangan disimpan lebih dari satu bulan. Larutan buffer ini dibuang bila gagal menghasilkan pH 10,0±0,1 pada *end point* titrasi.

*Larutan Pengkompleks (MgCDTA atau garam magnesium 1,2- cyclohexane diamine-tetracaetic):* ditambahkan 250 mg MgCDTA untuk setiap 250 mL contoh dan dilarutkan dengan sempurna sebelum penambahan larutan buffer.

*Larutan indikator Eriochrome Black T (garam Na 1-(hidroksi-2-naftilazo)-5-nitro-2-naftol-4-asam sulfonat ; No 203 dalam Color Index):* dilarutkan 0,5 gram zat pewarna ini dalam 100 g 2,2',2''-nitriлотrietanol (atau disebut juga trietanolamin. Lalu larutan ini ditambahkan dua tetes per 50 mL contoh yang akan dititiasi.

*Titran standar EDTA 0,01 M:* Ditimbang 3,723 gram *reagent-grade* disodium EDTA dihidrat, lalu dilarutkan dalam aquadest dan diencerkan sampai 1000 mL. larutan ini distandarkan terhadap larutan standar Ca.

*Larutan standar Ca:* Ditimbang 1000 gram CaCO<sub>3</sub> anhidrat dalam labu Erlenmeyer 500 mL. lalu diteteskan sedikit demi sedikit larutan HCl 1+1 sampai semua CaCO<sub>3</sub> melarut. Ditambahkan 200 mL aquades dan dididihkan beberapa menit untuk menghilangkan CO<sub>2</sub>. Larutan ini kemudian didinginkan dan ditambahkan indikator metal merah dan diatur sampai berwarna agak oranye dengan penambahan NH<sub>4</sub>OH 3N atau HCl tergantung keperluan. Kemudian larutan ini dipindahkan secara kuantitatif dan diencerkan sampai 1000 mL dengan aquadest. 1mL = 1,00 mg CaCO<sub>3</sub>.

*Proses titrasi:* Dicuplik 25 mL contoh air, ditambahkan 1-2 tetes larutan indikator. Kemudian ditambahkan titran EDTA secara perlahan dan diaduk secara kontinyu sampai warna merah anggur hilang. Ditambahkan beberapa tetes terakhir pada interval 3-5 detik. Titik akhir larutan adalah pada saat warna larutan ini menjadi biru.

Perhitungan : *hardness EDTA sebagai CaCO<sub>3</sub> /L =  $\frac{A \times B \times 1000}{mL \text{ sample}}$*

dimana A= mL titrasi untuk sample; B= mg CaCO<sub>3</sub> ekuivalen terhadap 1 mL titran EDTA

### **3.5.8. Identifikasi dan penentuan Kelimpahan fitoplankton**

Penyiapan *semi permanent wet mount* : Fitoplankton dalam contoh air dipekatkan dengan sentrifugasi pada 1000 rpm selama 20 menit. Aduklah konsentrat contoh fitoplankton dan contoh kemudian di cuplik dengan pipet yang terkalibrasi. Bersihkan pipet secara reguler. Lalu disiapkan *wet mount* dengan cara 0,1 ml contoh dipipet ke atas *glass slide*, pasang *cover slip* di atasnya. Bila akan disimpan dalam beberapa tahun, teteskan gliserin secukupnya ke atas slide. Seiring dengan terjadinya penguapan, biarkan organisme terikat dalam gliserin. Simpan di tempat gelap.

Metoda pengamatan di laboratorium dengan metoda *Lackey drop* (mikrotransek), diamati menggunakan mikroskop *inverted Diaphot 300* dengan pembesaran sampai 400 x. Jumlah organisme di hitung per mL dengan cara sebagai berikut:

$$\text{sel /mL} = \frac{C \times A_t}{A_s \times S \times V}$$

Dimana C adalah organisme yang dihitung;  $A_t$  =luas cover slip,  $\text{mm}^2$ ;  $A_s$ =luas satu strip,  $\text{mm}^2$ ; S=jumlah strip yang dihitung; V=volume contoh dibawah cover slip, mL.

Kemudian data dikonversikan dalam satuan sel/L. Identifikasi sampai level jenis atau spesies berdasarkan data yang disusun oleh Mizuno (1970), Prescott (1951) & Prescott (1970), Scott & Prescott (1961), Baker & Larelle (1999), Gell *et al.* (1999) dan diambil gambarnya sebagai koleksi.

### **3.6. Analisis data hasil penelitian**

Data hasil penelitian kemudian diolah dan disajikan secara piktorial menurut kedalaman perairan pada setiap situ yang diamati melalui aplikasi *software MS-Excell*<sup>TM</sup>. Analisa keterkaitan distribusi parameter yang diamati pada setiap strata pengambilan data setiap situ terhadap jarak, jumlah dan jenis sumber pencemar dilakukan secara deskriptif dengan tabulasi dipadukan dengan analisis piktorial.

Sedangkan analisis keterkaitan Pb dan Cd dalam biomassa fitoplankton terhadap faktor kimia dan fisika perairan dilakukan dengan menggunakan aplikasi

*Principal Component Analysis* (PCA) yang dijalankan dengan perangkat lunak Multi Variate Statistical Package (MVSP) *version* 3.1. Menurut Legendre and Legendre (1998) dan Primpas *et al.* (2010) PCA adalah metode statistik multivariat yang telah banyak digunakan dalam literatur ilmiah dan merupakan teknik pengurangan dimensi dengan cara mengekstrak sejumlah komponen prinsipal untuk menghitung interkorelasi variabel yang terlibat. Metoda ini berlaku bila teramati adanya korelasi yang tinggi diantara semua variabel.

Data Pb dan Cd dalam bioamasa fitoplankton yang diambil menurut strata pengambilan contoh pada setiap situ (permukaan, kedalaman *Secchi*, dan dasar perairan) diuji korelasinya terhadap pH, DO, konduktivitas, suhu, turbiditas, kesadahan total, klorofil a, total Pb dalam sedimen, total Cd dalam sedimen, Pb terlarut, Cd terlarut, Pb partikulat. Tujuannya adalah untuk mengetahui faktor kimia dan fisika perairan mana yang diduga berpengaruh terhadap bioakumulasi Pb dan Cd dalam fitoplankton yang hidup pada masing-masing perairan situ yang diamati.

Data hasil PCA disajikan secara grafis berbentuk biplot menurut strata pengambilan contoh. Biplot ini menggambarkan rotasi sekumpulan data dalam ruang multidimensional sehingga sumbu (*axis*) terpanjang (sumbu dengan variansi terbesar) adalah *first axis*, dan sumbu kedua yang tegak lurus terhadap sumbu pertama adalah sumbu PCA yang kedua, dan seterusnya. Jadi banyaknya beberapa sumbu menyajikan sejumlah variasi dalam perangkat data dan diharapkan menunjukkan pola yang signifikan.

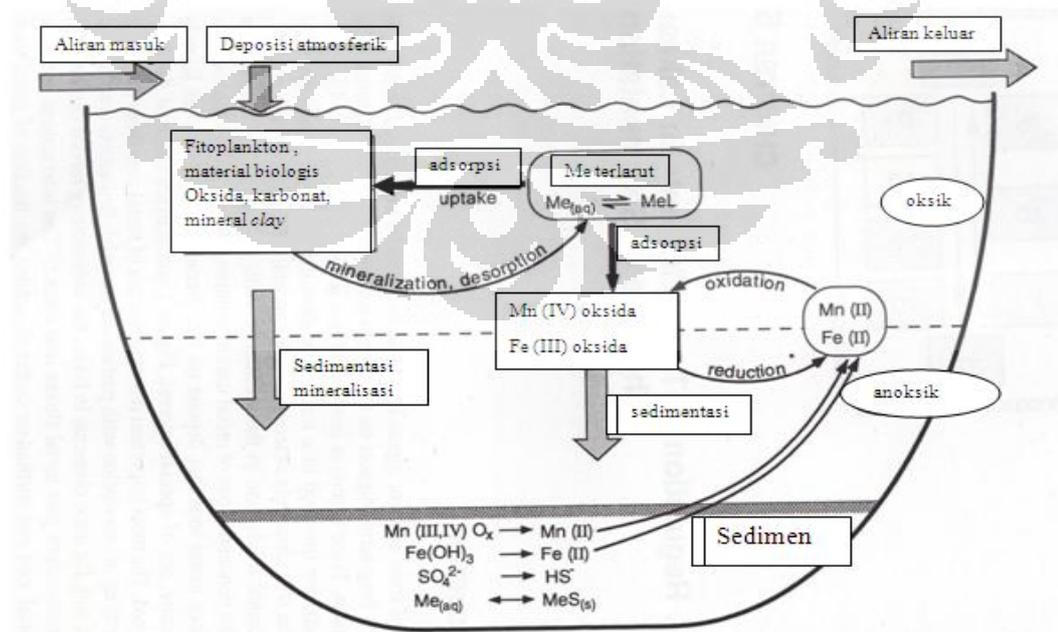
Perhitungan PCA dalam penelitian ini dilakukan dengan MVSP 3.1 dan skor hasil disajikan dalam bentuk *scatter plot* pada dua sumbu pertama PCA dan disebut sebagai biplot. Biplot ini menyajikan vektor yang saling berdekatan pada *scatter points*. Vektor ini berasal dari pusat grafik dan menyajikan masing-masing variabel. Arah dari panah menunjukkan perubahan maksimum pada variabel tersebut dan panjangnya sebanding dengan laju perubahan. Posisi relatif titik terhadap panah menunjukkan hubungan antara setiap titik dan variabel dinyatakan oleh panah tersebut. Semakin jauh terhadap kepala panah tersebut maka akan semakin besar nilai untuk variabel tersebut (Legendre and Legendre ; 1998).

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Sifat Kimia dan Fisika Perairan pada lima situ

Buffle and De Vitre (1994) menyebutkan bahwa pemahaman terhadap apa yang dialami oleh logam runtu (Pb dan Cd dalam kasus ini) bila memasuki perairan danau sangatlah penting. Informasi tentang hal tersebut penting untuk mengevaluasi pengaruh jangka panjang keberadaan logam runtu terhadap ekosistem danau dan juga efeknya yang segera terlihat pada biota. *Input* logam runtu baik melalui *inflow* (aliran masuk, misalnya aliran sungai) maupun deposisi atmosferik, melibatkan sejumlah proses kimia, biologi dan fisika yang sangat menentukan konsentrasi logam runtu tersebut dalam kolom air, dalam *suspended solid* (partikulat) dan dalam sedimen. Terkait dengan interaksi logam runtu terhadap biota, konsentrasi ion logam runtu di dalam larutan, terutama konsentrasi ion bebasnya, bergantung pada interaksi dengan berbagai jenis ligan yang berada di perairan. Gambar 4.1 berikut memperlihatkan beberapa proses yang terjadi.



Gambar 4.1. Skema siklus logam runtu dalam perairan danau menurut Buffle and DeVitre (1994).

Proses penghilangan logam runtu dari kolom air yang terpenting adalah *settling* logam runtu bersamaan dengan material partikulat. Sedimen kemudian menjadi semacam *predominant sink* untuk logam runtu pada perairan danau. Interaksi antara bentuk logam runtu terlarut dengan material partikulat menunjukkan fraksi ion logam runtu yang diikat oleh material partikulat lalu mendeposisikannya ke sedimen. Efisiensi proses ini tergantung pada komposisi material partikulat dan pada proses pengikatan (yaitu adsorpsi pada permukaan, *uptake* oleh biota, pengendapan fasa *solid*) juga spesiasi logam runtu itu sendiri. Baik partikel organik biogenik (fitoplankton, sisa-sisa makhluk hidup) dan partikel anorganik (oksida Mn dan Fe) berperan dalam proses pengikatan dan *transport* logam runtu. Produk fotosintesis oleh fitoplankton dan sedimentasinya juga menjadi proses dominan yang penting dalam pendeposisian logam runtu ke kompartemen sedimen danau. Pada bagian *interface* sedimen-air, kondisi anoksik dapat terjadi akibat adanya oksida-oksida Fe dan Mn yang tereduksi dan kemudian mengalami pelarutan (*dissolution*), saat seperti inilah kemudian terbentuk senyawa sulfida Buffle and DeVitre (1994); Stumm and Morgan (1996).

*Input* Pb dan Cd pada lima situ perairan Bogor tampaknya juga sangat perlu ditelaah bagaimana keadaan kedua logam ini bila masuk ke sistem perairan tersebut melalui pendekatan konseptual menurut Buffle and DeVitre (1994) dan Stumm and Morgan (1996) ini. Oleh sebab itu pembahasan dalam tesis ini dilakukan menurut urutan logika yang berbasis pada skema siklus logam runtu seperti pada Gambar 4.1. Faktor kimia dan fisika perairan termasuk total kesadahan dibahas pada urutan pertama karena faktor ini adalah pengendali dinamika logam runtu di perairan proses reduksi oksidasi yang melibatkan oksida Fe dan Mn didekati dengan observasi terhadap level DO (Stumm and Morgan, 1996).

Klorofil-a dibahas pada urutan berikutnya karena menurut Wetzel (2001) merupakan representasi dari aktifitas fotosintesis yang dilakukan oleh komunitas fitoplankton. Selanjutnya berturut-turut dibahas tentang dinamika spesiasi Pb dan Cd berikut dengan deposisi kedua logam runtu itu di sedimen pada lima perairan situ. Pola kelimpahan fitoplankton berikut pola bioakumulasi Pb dan Cd dalam biomassa fitoplankton yang hidup di lima perairan situ didiskusikan pada sub bab berikutnya karena menurut Bellinger and Sigeo (2010), biota ini merupakan *agent* terpenting dalam proses pengikatan kedua logam runtu tersebut sehingga dapat menjelaskan dinamika kedua logam itu secara lebih mudah.

Faktor kimia dan fisika perairan bertindak sebagai variabel pengontrol yang sangat kuat mempengaruhi tingkah laku konstituen terlarut lain yang ada dalam perairan (Weiner, 2008). Logam terlarut dan DO sangat dipengaruhi oleh perubahan faktor kimia dan fisika perairan (Wetzel, 2001; Weiner, 2008; Chapman, 1996). Berikut ini adalah rerata data kimia dan fisika perairan dari lima situ yang diamati dalam dua kali periode yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data rerata sifat kimia dan fisika perairan pada lima situ di sekitar Kabupaten Bogor

	pH			Suhu °C			Cond mS/cm		
	5-Oct-10	10-Nov-10	rerata	5-Oct-10	10-Nov-10	rerata	5-Oct-10	10-Nov-10	rerata
	Situ Lido	6.86	6.92	6.89	25.90	26.90	26.40	0.117	0.108
Situ Tonjong	6.36	6.71	6.53	39.50	31.10	35.30	0.071	0.069	0.07
Situ Cibuntu	6.77	7.08	6.93	29.50	30.00	29.75	0.082	0.087	0.08
Situ Cikaret	6.89	7.16	7.02	30.10	28.90	29.50	0.117	0.120	0.12
Situ Rawa Kalong	8.06	8.84	8.45	30.00	29.90	29.95	0.131	0.141	0.14
	Turbiditas NTU			DO mg/L					
	5-Oct-10	10-Nov-10	rerata	5-Oct-10	10-Nov-10	rerata			
	Situ Lido	3.20	6.80	5.00	1.64	5.40	3.52		
Situ Tonjong	3.80	7.00	5.40	4.00	6.56	5.28			
Situ Cibuntu	38.40	21.40	29.90	9.82	6.84	8.33			
Situ Cikaret	6.20	10.40	8.30	7.07	4.33	5.70			
Situ Rawa Kalong	45.20	61.20	53.20	7.37	6.44	6.91			
	Kedalaman maksimum meter			Kedalaman Secchi meter					
	5-Oct-10	10-Nov-10	rerata	5-Oct-10	10-Nov-10	rerata			
	Situ Lido	12	12.7	12.35	1.64	2.07	1.86		
Situ Tonjong	3.97	3.97	3.97	1.13	0.95	1.04			
Situ Cibuntu	0.9	1.08	0.99	0.42	0.37	0.40			
Situ Cikaret	12	7.6	9.80	1.10	0.65	0.88			
Situ Rawa Kalong	2.1	2.23	2.17	0.29	0.21	0.25			

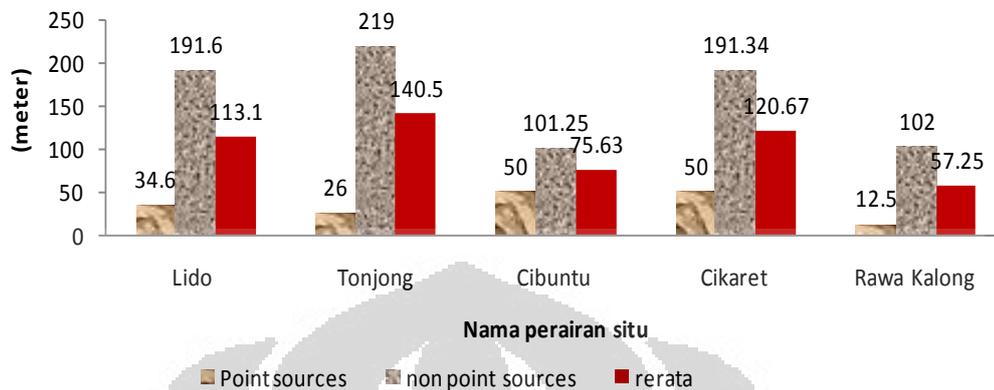
**Nilai pH** seperti yang disajikan dalam Tabel 4.1. menunjukkan bahwa lima situ yang diamati masih dalam kondisi yang mendukung kehidupan biotanya karena masih dalam kisaran karakteristik nilai pH 6,5 sampai 9,0 yang umum untuk perairan darat (Wetzel, 2001 dan Weiner, 2008). Nilai pH pada Situ Rawa Kalong memiliki nilai rerata lebih tinggi dibandingkan Situ Lido padahal pengukuran pada kedua situ tersebut dilakukan pada jam yang relatif sama yaitu jam 9.30 pagi (Tabel 3.1 dan Tabel 3.5). Sementara itu, nilai pH pada Situ Cikaret juga cenderung lebih tinggi dibandingkan Situ Tonjong, meskipun dilakukan pengukuran pada jam yang relatif sama yaitu jam 13.30 siang (Tabel 3.2 dan Tabel 3.4). Hal ini mengindikasikan bahwa Situ Rawa Kalong memiliki aktifitas fotosintesis yang lebih tinggi dibandingkan Situ Lido demikian pula halnya Situ Cikaret yang lebih tinggi aktifitas fotosintesis yang terjadi didalam perairannya dibandingkan terhadap Situ Tonjong. Sebagaimana yang dikemukakan Weiner (2008) dan Wetzel (2001) bahwa fotosintesis disiang hari oleh organisme akuatik menyebabkan lebih tingginya konsumsi CO<sub>2</sub> di perairan

dibandingkan dengan laju *input* CO<sub>2</sub> dari atmosfer sehingga mengakibatkan naiknya nilai pH.

**Kisaran suhu** perairan ke lima situ pada dua kali periode observasi berkisar 25,90 °C sampai 31,10 °C (Tabel 4.1). Nilai masih pada batas normal untuk perairan darat tropis (Wetzel, 2001). Nilai kisaran tersebut tentunya dipengaruhi oleh waktu dilakukannya pengukuran dan *altitude* lokasi perairan situ yang diamati. Situ Lido memiliki suhu rerata perairan yang paling rendah (Tabel 4.1) diantara lima situ karena memang *altitude* nya yang paling tinggi juga tetap lebih rendah dari Situ Rawa kalong meskipun waktu pengukurannya sama (Tabel 3.1 sampai Tabel 3.5). Pola seperti ini pun juga sama dengan hasil pengamatan pada tahun 2009 yang dilakukan oleh Awalina-Satya (2009).

Nilai **konduktifitas perairan**, seperti pada umumnya perairan darat yang belum terpolusi memiliki konduktifitas 10 sampai 1000 µS/cm (Chapman, 1996; Wetzel, 2001). Hasil pengukuran dalam penelitian ini seperti pada pada Tabel 4.1, menunjukkan bahwa konduktifitas perairan lima perairan situ (69-141 µS/cm) masih berada dalam kisaran yang dilaporkan oleh para peneliti tersebut . Diantara lima situ tersebut nilai tertinggi parameter ini selalu dijumpai pada Situ Rawa Kalong dan terendah selalu Situ Tonjong. Hal ini mengindikasikan bahwa Situ Tonjong menerima *input* antropogenik terkecil dibandingkan ke empat situ lainnya, terbukti dari jenis *point sources* dan *non point sources* (Tabel 3.2) serta total jarak relatif rerata yang terhadap titik pengambilan contoh yang terjauh yaitu mencapai 140,5 meter dari kedua jenis sumber pencemar tersebut dibandingkan dengan empat situ lainnya (Gambar 4.2 ).

## Jarak rerata terhadap sumber pencemar potensial



Gambar 4.2. Jarak rerata titik pengambilan contoh terhadap semua sumber pencemar

**Turbiditas perairan** hasil pengamatan terhadap parameter ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 dimana lima situ pada dua kali pengamatan memiliki level turbiditas masih dalam kisaran normal menurut Wetzel (2001) yaitu masih dalam kisaran 1-1000 NTU. Kecuali pada Situ Cibuntu, ada kecenderungan peningkatan level turbiditas pada empat situ lainnya pada pengambilan contoh periode kedua. Hal ini dapat dimengerti karena pada saat pengambilan contoh pada periode kedua diempat situ tersebut hujan baru saja turun. Tampaknya curah hujan yang turun mengakibatkan adanya tambahan partikel tanah yang terlarut sebagai akibat adanya *surface run off*, fenomena tersebut tampak jelas pada Situ Kawa Kalong yang menunjukkan lonjakan tajam untuk turbiditas pada saat periode kedua pengambilan contoh. Sebaliknya, Situ Lido sama dengan kondisi yang dilaporkan oleh Awalina-Satya (2009) memiliki nilai turbiditas paling kecil diantara lima situ lainnya. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh kedalaman maksimum ( $z_{maks}$ ) situ ini yang mencapai 1200 cm ( atau enam kali lebih dalam dibandingkan Situ Rawa Kalong) sehingga efek *surface run off* pada saat turun hujan tidak terlalu berpengaruh secara signifikan terhadap besaran turbiditas (Tabel 4.1).

**Kedalaman *Secchi* ( $Z_{SD}$ )** sebagaimana yang tersaji dalam Tabel 4.1 menunjukkan nilai tertinggi dijumpai di Situ Lido pada dua kali periode pengambilan data. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa Situ Lido memiliki zona transparan (zona fotik) yang tertinggi diantara lima situ lainnya. Tampaknya karena  $z_{maks}$  Situ Lido yang besar menyebabkan kecilnya pengaruh resuspensi sedimen dasar akibat pengadukan pada bagian permukaan sehingga partikulat terlarut dalam air juga menjadi lebih terkonsentrasi di bagian dasar dibandingkan dibagian dekat dengan permukaan. Sementara transparansi di Situ Tonjong ternyata relatif hanya sedikit lebih transparan dibandingkan Situ Cikaret padahal  $z_{maks}$  Situ Tonjong hanya seperempat dari  $z_{maks}$  Situ Cikaret. Kasus ini tampaknya menjadi bukti bahwa jenis dan jumlah sumber pencemar (Tabel 3.4 dan Tabel 3.2 ) berpengaruh terhadap transparansi atau  $z_{SD}$  dari suatu perairan. Gambar 4.2. juga dapat menjelaskan mengapa Situ Tonjong menjadi sedikit lebih transparan dari Situ Cikaret yang empat kali lebih dalam yaitu adanya faktor jarak dari sumber pencemar. Situ Tonjong terlihat memiliki jarak rerata 20 meter lebih jauh dari sumber pencemar dibandingkan pada Situ Cikaret. Situ Rawa Kalong dalam dua kali pengambilan sampel selalu menunjukkan level transparansi terendah. Hal ini mengindikasikan bahwa Situ Rawa Kalong memiliki kondisi terburuk dibandingkan lima situ lainnya akibat jarak Situ Rawa kalong yang paling dekat terhadap sumber pencemaran dan juga jenis sumber pencemar yang tampaknya lebih "berat" dibandingkan empat situ lainnya, yaitu adanya paling tidak terdapat lima industri berbasis kimia (dua diantaranya pabrik plastik dan *electroplating*) terletak di pinggiran Situ Rawa Kalong.

**Kedalaman maksimum ( $z_{maks}$ )** titik pengambilan contoh untuk setiap situ juga diukur pada kegiatan ini, hal ini ditentukan saat proses pengambilan contoh sedimen dengan menggunakan Ekman *Grab* yang telah dilengkapi dengan tali berskala. Pada pengambilan data periode pertama, titik

pengambilan contoh pada Situ Lido dan Situ Cikaret memiliki kedalaman maksimum yang relatif sama, tetapi pada pengambilan contoh kedua terjadi perubahan yaitu penurunan drastis pada kedalaman maksimum pengambilan contoh di Situ Cikaret. Hal ini dikarenakan pada saat pengambilan contoh periode kedua sedang dilakukan pembukaan pintu air di Situ Cikaret. Pembukaan pintu ini bertujuan untuk mempermudah langkah pendalaman pinggiran sisi sebelah barat situ Cikaret. Air di bagian dasar Situ Cikaret saat itu pun berbau sangat menyengat (bau khas senyawa sulfida) dan hal ini dibuktikan dengan warna sedimen tampak hitam pekat. Empat situ lainnya mengalami peningkatan kedalaman maksimum, hal ini dapat dimengerti karena pengambilan contoh kedua dilakukan pada saat sesudah dua hari berturut-turut turun hujan.

**Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen, DO*)** seperti yang tersaji pada Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa meskipun pada pengambilan contoh periode kedua nilai DO cenderung meningkat, pada saat pengambilan contoh pertama Situ Lido memiliki level DO paling rendah (1,64 mg/L) sementara DO tertinggi dijumpai di Situ Cibuntu. Menurut Chapman (1996) bila kuantitas DO <2 mg/L maka beberapa jenis ikan akan mati, tetapi pada saat dilakukan pengambilan contoh pertama di Situ Lido tidak dijumpai adanya kematian ikan yang dibudidayakan di karamba apung dekat dengan titik pengambilan contoh. Hal ini mungkin dikarenakan jenis ikan yang dibudidayakan sudah beradaptasi terhadap rendahnya nilai DO ini. Bila dibandingkan dengan data yang dilaporkan oleh Ubaidillah *et al.* (2003) bahwa kisaran DO untuk waduk dan situ di wilayah DKI Jakarta (0,62 mg/L- 11,72 mg/L) maka nilai DO untuk Situ Lido ini masih dalam taraf yang tidak terlalu parah.

Pada pengambilan contoh kedua hanya Situ Tonjong yang cenderung menunjukkan peningkatan DO sedangkan Situ Lido, Situ Tonjong, Situ Rawa Kalong dan Situ Cibuntu meskipun hanya sampai pada level tercemar sedang cenderung menunjukkan penurunan DO. Situ Cikaret

memiliki DO terendah (4,33 mg/L) pada pengambilan contoh kedua dimana menurut Weiner (2008) adalah nilai DO seperti ini adalah karakteristik untuk perairan tercemar berat sementara bila dibandingkan dengan perolehan data Ubaidillah *et al.* (2003), nilai DO Situ Cikaret masih dalam level moderat. Hal ini tampaknya berkaitan dengan adanya pembukaan pintu air untuk keperluan penurunan muka air. Pada saat itu, kedalaman maksimum menurun hingga tinggal 50 % dari kedalaman maksimum pengambilan contoh periode pertama. Air pada dasar titik pengambilan contoh menjadi berwarna sangat hitam dan berbau menyengat khas senyawa sulfida dan hal ini mengindikasikan telah terjadinya pengadukan sedimen dasar Situ Cikaret.

#### **4.2. Pola distribusi Klorofil a**

Klorofil pigmen hijau terdapat di semua organisme yang mampu berfotosintesis sehingga parameter ini menunjukkan secara tidak langsung biomasa alga dan juga status kesuburan suatu perairan. Pertumbuhan fitoplankton disuatu perairan terkait dengan nutrisi, suhu dan cahaya. Jadi konsentrasi klorofil-a ini berfluktuasi secara musiman bahkan harian tergantung kedalaman perairan dan perubahan lingkungan.

Hasil penelitian ini sebagaimana yang tersaji pada Gambar 4.3 menunjukkan pola distribusi klorofil-a menurut kedalaman pengambilan sampel pada setiap perairan situ. Pada gambar tersebut, Situ Rawa Kalong menunjukkan level kandungan klorofil-a tertinggi dibandingkan empat situ lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa Situ Rawa Kalong tergolong sebagai perairan eutrofik (subur) karena berada pada kisaran karakteristik perairan eutrofik menurut Chapman (1996) yaitu 5-140 mg/m<sup>3</sup>. Kandungan klorofil-a pada kedalaman *Secchi* mencapai dua kali lipat lebih tinggi dibandingkan pada permukaan, sedangkan klorofil-a di dasar situ Rawa Kalong sedikit lebih tinggi dibandingkan permukaan. Distribusi klorofil seperti ini adalah ciri khas untuk perairan dangkal dimana *wind*

*mixing* masih sangat dominan berpengaruh terhadap distribusi konstituen yang terlarut di dalamnya (Wetzel, 2001).

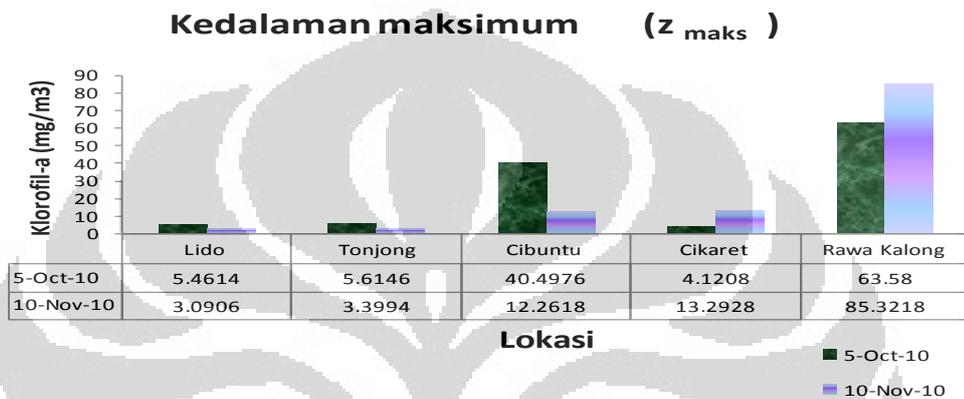
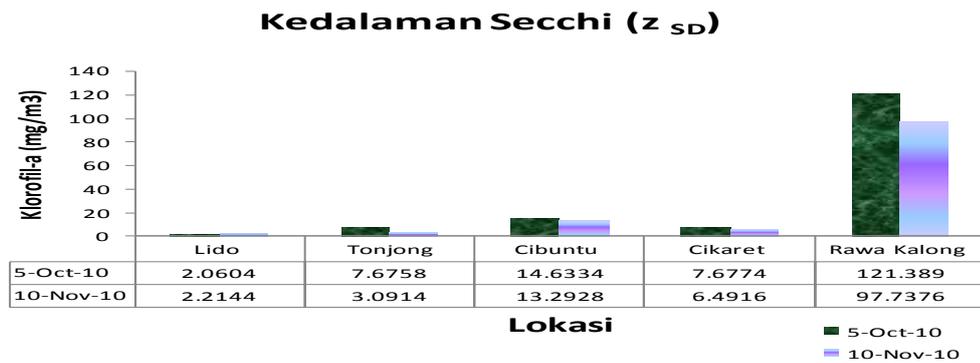
Urutan level kandungan klorofil-a (kesuburan perairan) pada lima situ adalah sebagai berikut: Situ Rawa Kalong>Situ Cibuntu>Situ Cikaret>Situ Tonjong>Situ Lido. Fakta ini menunjukkan bahwa Situ Cibuntu karena luas permukaannya paling kecil dan kedalamannya paling dangkal diantara empat situ lainnya menjadi lebih sensitif terhadap pengaruh lingkungan di sekitarnya. Situ terkecil ini dikelilingi oleh perkebunan palawija dan menerima *input* dari sungai kecil yang seringkali membawa banyak sekali sampah masuk ke dalam situ. Hal yang sebaliknya terjadi pada Situ Lido sebagai perairan situ yang terdalam dibandingkan empat situ lain yang diamati. (Tabel 3.1, Tabel 3.3, Gambar 3.1 dan Gambar 3.3). Sungai kecil ini melewati beberapa perkampungan penduduk yang cukup padat. Sumber air lainnya untuk Situ Cibuntu berasal dari *run off* perkebunan palawija yang dipupuk dengan urea dan pupuk kandang yang kaya dengan zat hara sehingga memicu terjadinya peningkatan kesuburan perairan. Sumber *input* bahan organik yang turut meningkatkan kesuburan adalah pakan ikan berupa sisa-sisa sayuran dan karena Situ Cibuntu dimanfaatkan masyarakat sekitarnya untuk areal pemancingan, terkadang ikan yang dibudidayakan di situ seringkali diberi pakan dari sisa sayuran.

Situ Rawa Kalong adalah situ dengan reputasi sebagai perairan yang eutrofik dan paling banyak dimanfaatkan oleh masyarakat lokal sebagai tempat budidaya ikan dalam karamba apung dan jaring apung. *Input* nutrient kemungkinan datang dari perumahan yang cukup padat di sekitarnya, pabrik berbasis kimia di pinggiran situ, dan tempat penimbunan dan pembakaran sampah (sebanyak tiga buah *point sources* yang berjarak hanya 30 cm dari pinggir situ). Dapat dipastikan bahwa hasil perlindian tumpukan sampah mengalir hampir tanpa hambatan

kedalam perairan situ dan hal ini jelas memasok nutrien ke perairan ini (Gambar 3.5 Tabel 3.5).

Kandungan klorofil-a diperairan Situ Cikaret termasuk dalam kelas moderat dibanding kedua situ yang telah dibahas sebelumnya meskipun sedikit lebih tinggi dibandingkan Situ Tonjong dan Situ Lido (Gambar 4.3). Tampaknya Situ Lido lebih aman dari ancaman bahaya timbulnya eutrofikasi karena secara fisik situ ini jauh lebih luas dan lebih dalam dibandingkan empat situ lainnya (Gambar 3.1 Tabel 3.1). Situ Tonjong juga memiliki kondisi lingkungan yang lebih baik dibandingkan Situ Cikaret misalnya, karena secara faktual saat pengambilan contoh dilakukan terlihat bahwa perumahan di sekitarnya tidak sepadat di Situ Cikaret serta perkebunan di sekitarnya tidak diolah seintensif perkebunan palawija di sekitar Situ Cibuntu. Gambar 4.2 juga menunjukkan bahwa titik pengambilan contoh pada Situ Tonjong relatif paling jauh dari sumber pencemar dibandingkan dengan empat situ lainnya.





Gambar 4.3. Distribusi klorofil-a menurut kedalaman pengambilan contoh

### 4.3. Karakteristik kesadahan total di perairan

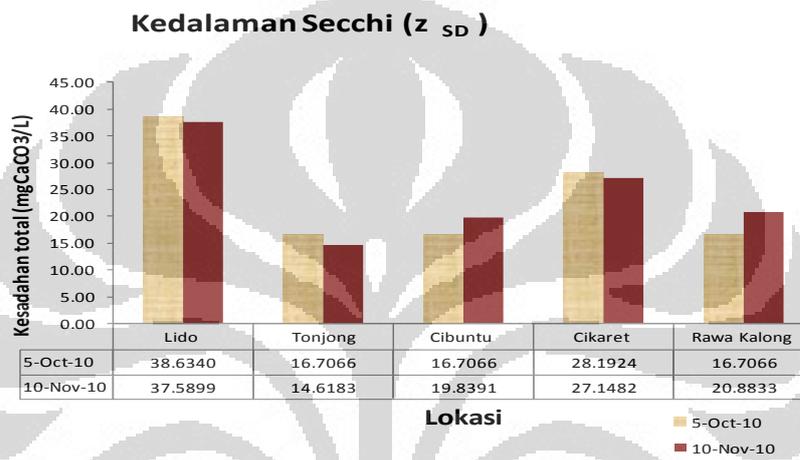
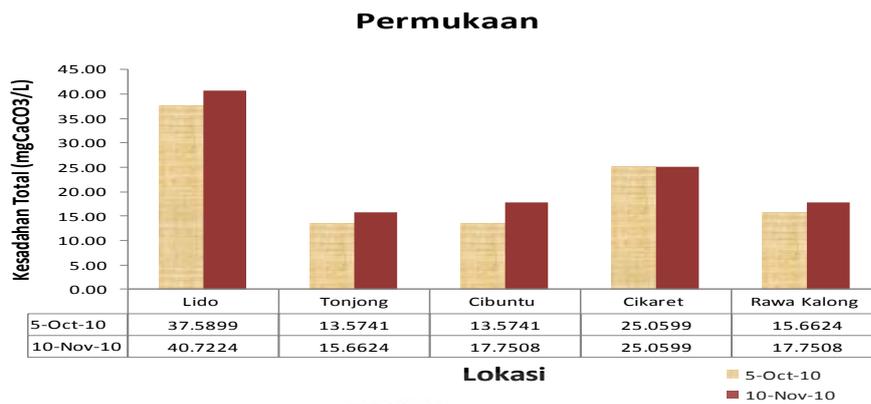
Kesadahan total di perairan alamiah tergantung terutama pada keberadaan garam-garam Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg). Kandungan total kedua garam-garam ini disebut kesadahan total yang selanjutnya dibedakan menjadi kesadahan total Karbonat (dideterminasi sebagai konsentrasi Ca dan Mg hidrokarbonat) dan kesadahan total non-karbonat (dideterminasi sebagai garam-garam Ca dan Mg asam-asam kuat). Hidrokarbonat diubah selama pendidihan air menjadi karbonat, yang biasanya mengendap. Jadi kesadahan total karbonat hanya bersifat sementara, sementara kesadahan total yang tetap didalam air setelah pendidihan disebut kesadahan total tetap. Kuantitas kesadahan total tergantung pada musim, biasanya rendah pada saat musim penghujan. Pada penelitian ini yang dideterminasi adalah kesadahan total. Hasil yang diperoleh selama observasi dapat dilihat pada Gambar 4.4. Menurut

Weiner (2008), nilai ideal kesadahan total adalah 70-90 mgCaCO<sub>3</sub> /L. Jika nilai kesadahan total <75 CaCO<sub>3</sub>mg/L maka perairan tersebut digolongkan sebagai "*soft waters*" yang kemungkinan memperbesar potensi toksisitas terhadap ikan akibat peningkatan kandungan logam terlarut. Air seperti ini juga akan meningkatkan korosifitasnya terhadap logam. Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa lima perairan situ ini memiliki nilai kesadahan total <75 CaCO<sub>3</sub>mg/L, sehingga berkarakteristik sebagai *soft water* dengan segala konsekuensi pengaruhnya terhadap bioakumulasi Pb dan Cd. Kisaran total kesadahan tertinggi dijumpai pada kedalaman maksimum kemudian kedalaman *Secchi* dan permukaan.

Rerata kesadahan total tertinggi dijumpai di Situ Lido dan terendah di Situ Tonjong. Urutan level kesadahan total pada semua kedalaman yang diobservasi adalah sebagai berikut Situ Lido>Situ Cikaret>Situ Cibuntu>Situ Rawa Kalong >Situ Tonjong. Jadi dalam hal nilai kesadahan total, Situ Lido adalah perairan yang terbaik dibandingkan empat situ lainnya yang mengindikasikan bahwa potensi terjadinya bioakumulasi Pb dan Cd paling rendah dibandingkan empat situ lainnya.

#### **4.4. Pola distribusi Total Pb menurut strata**

Pada Gambar 4.5. terlihat bahwa secara umum total Pb pada empat situ masih tergolong di bawah ambang batas aman untuk Pb di perairan (menurut *Canadian Water Quality Standard* yaitu 10 µgPb/L) kecuali Situ Cikaret pada pengambilan contoh periode pertama . Dapat dikatakan juga bahwa pada pengambilan sampel yang kedua pada empat situ tersebut kuantitas total Pb cenderung selalu lebih tinggi.



Gambar 4.4. Kesadahan total di lima situ sekitar Kab. Bogor menurut kedalaman

Pengujian pengaruh TPS terhadap konsentrasi total Pb sangat cocok dilakukan pada Situ Lido dan Situ Cikaret sangat cocok untuk dibandingkan karena jarak rerata masing-masing situ ini terhadap TPS hampir sama yaitu 113,1 m (Situ Lido) dan 120,67 m (Situ Cikaret) (Gambar 4.2). Hasil analisa total Pb di permukaan Situ Cikaret pada

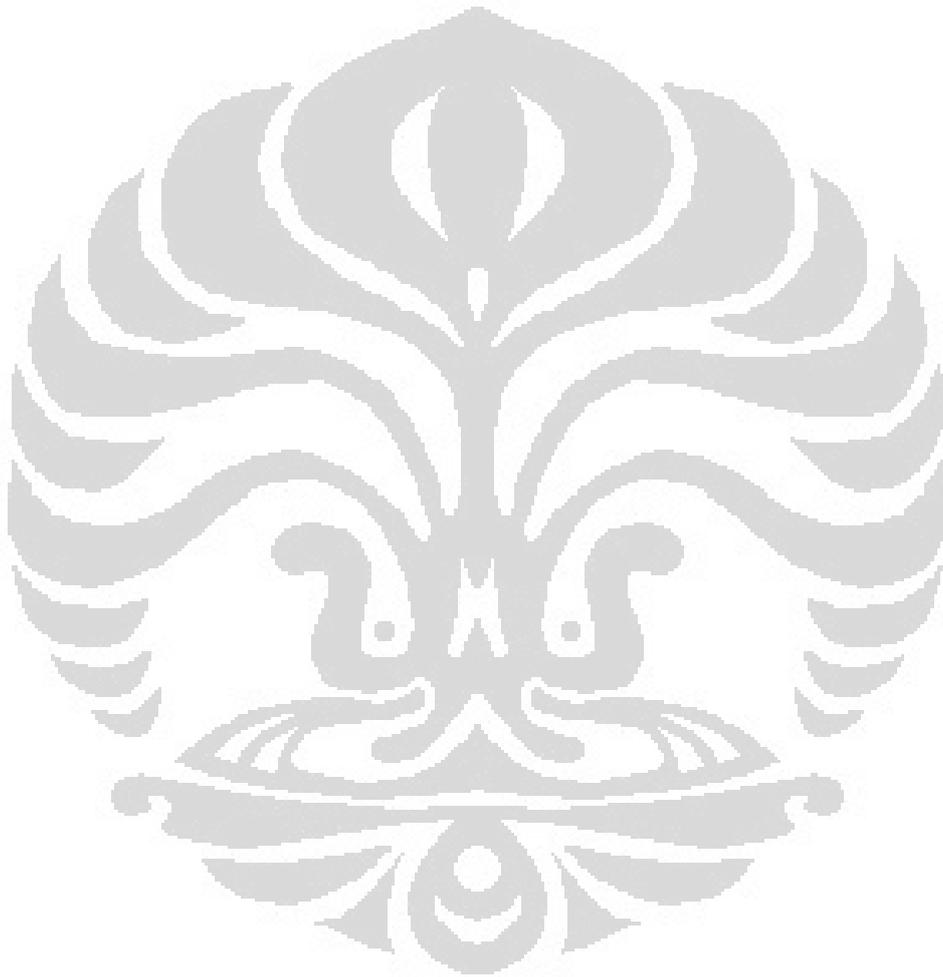
pengambilan pertama memiliki level tertinggi dibandingkan empat situ lainnya bahkan melebihi ambang batas aman untuk mendukung kehidupan akuatik ( $12,09 \mu\text{gPb/L}$ ). Tampaknya hal ini terkait dengan waktu pengambilan contoh dimana pengambilan contoh di Situ Cikaret dilakukan pada jam 13.30 siang saat (Tabel 3.4) lalu lintas jalan raya lebih padat bila dibandingkan dengan dilakukannya waktu pengambilan contoh di Situ Lido yang dilakukan pada jam 9.30 (Tabel 3.1) . Pengambilan contoh pada Situ Tonjong juga dilakukan pada jam 13.30 tetapi karena jarak rerata titik pengambilan contoh terhadap sumber pencemar pada situ ini lebih jauh dibandingkan dengan Situ Cikaret (Gambar 4.2), maka konsentrasi total Pb nya juga menjadi lebih rendah.

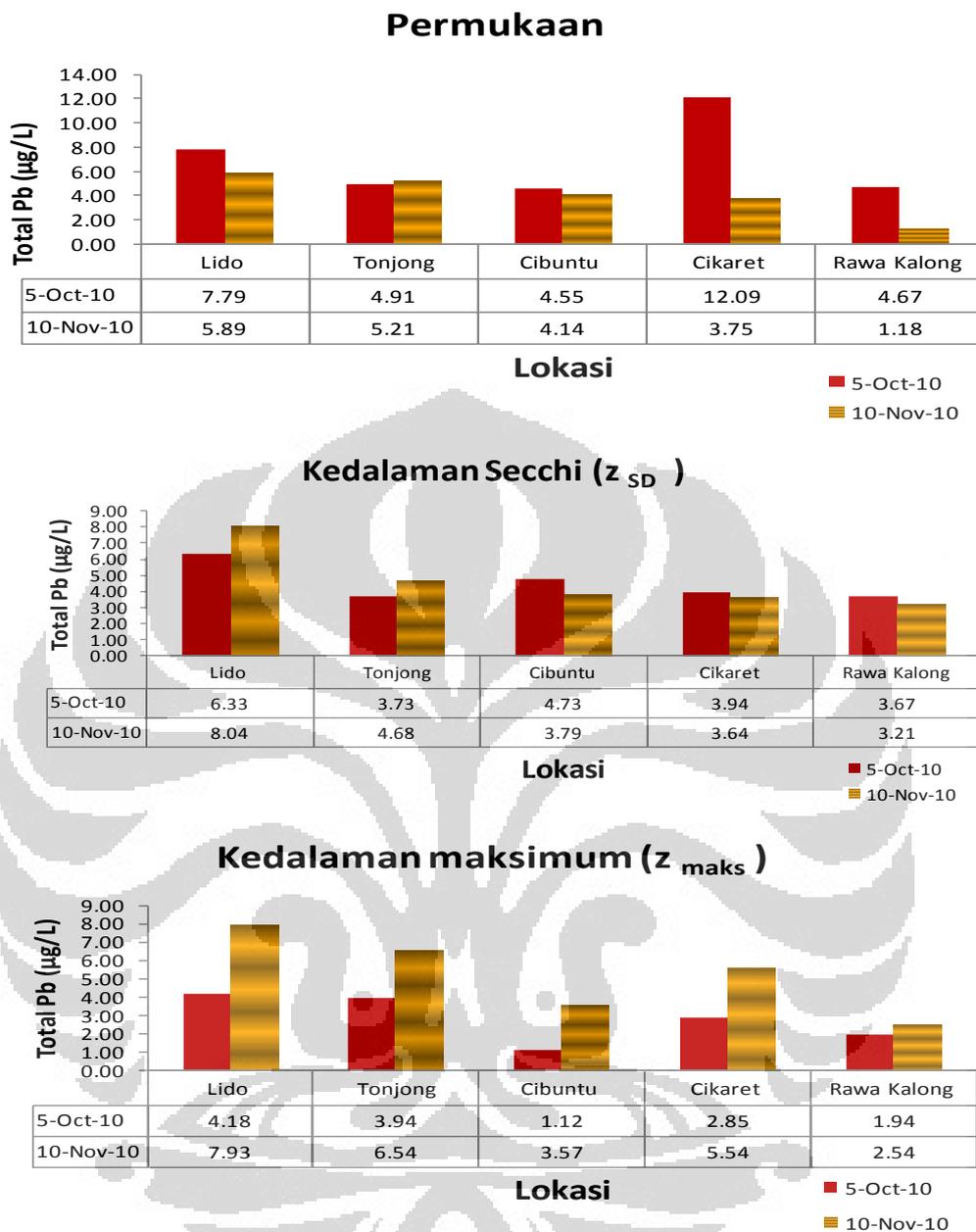
Hal yang menarik adalah, bahwa ternyata bila dilihat secara keseluruhan strata pengambilan contoh, rerata kandungan total Pb di Situ Lido adalah yang tertinggi dan berikutnya adalah Situ Cikaret (Gambar 4.5). Sepertinya hal ini disebabkan karena pada Situ Lido jenis *point sources* lebih banyak dan lebih dekat jaraknya terhadap titik pengambilan contoh dibandingkan empat situ lainnya (Tabel 3.1 sampai Tabel 3.5).

Sebaliknya Situ Rawa Kalong menunjukkan kandungan total Pb terendah (Gambar 4.5) bila dibandingkan dengan empat situ lainnya meskipun situ ini memiliki jarak yang paling dekat terhadap sumber pencemar (Gambar 4.2). Hal ini menunjukkan bahwa jarak terhadap sumber pencemar bukan satu-satunya faktor yang berpengaruh terhadap tinggi rendahnya Pb tapi juga jenis dari sumber pencemar tersebut. Pada Situ Lido banyak dijumpai perahu motor dan lebih dekat dengan jalan raya yang ramai lalu lintas, sementara Situ Rawa Kalong tidak dijumpai sama sekali keberadaan perahu motor dan titik pengambilan contoh relatif lebih jauh posisinya terhadap jalan raya (Tabel 3.5).

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa rerata total Pb tertinggi dijumpai pada bagian permukaan perairan situ dibandingkan pada bagian kedalaman

*Secchi* dan dasarnya. Hal ini tampaknya sebagaimana diungkapkan oleh Manahan (2001) dan Csuros and Csuros (2002) terkait dengan Pb yang tergolong sebagai pencemar yang bersifat *atmophile* (bersumber terutama dari deposisi atmosferik) yang berpartikel sangat halus sehingga memerlukan waktu yang lebih lama untuk tinggal di strata permukaan perairan sebelum akhirnya tenggelam ke bagian dasar perairan dan terdeposisi di sedimen dasar (mengalami proses *sinking*) .





Gambar 4.5. Distribusi total Pb di lima perairan situ Kabupaten Bogor menurut kedalaman

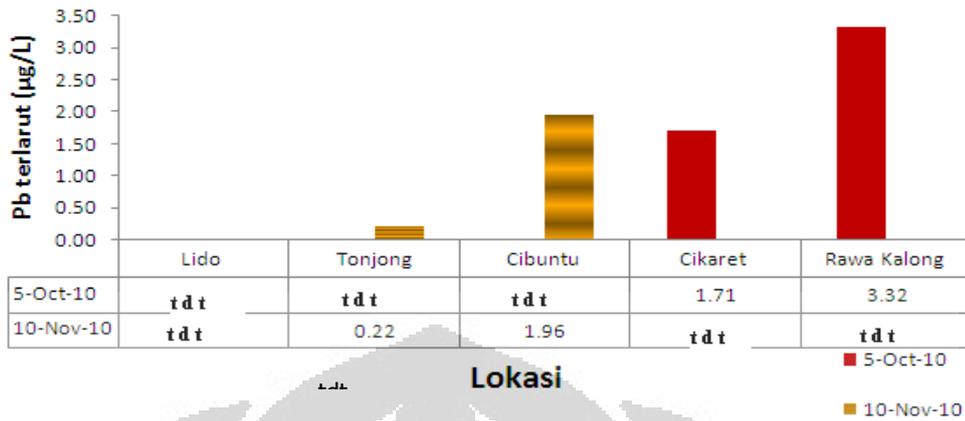
#### 4.5. Pola distribusi Pb terlarut menurut strata

Bentuk Pb terlarut sangat penting untuk diperhatikan (Stumm and Morgan, 1996; Nguyen et al., 2005; Weiner, 2008; Murko et al., 2009), karena karakteristik perairan lima situ yang tergolong "*soft water*" dimana pada kondisi ini logam cenderung berada sebagai bentuk terlarutnya dan

meningkatkan level bioavailabilitasnya dan bersifat lebih *mobile*. Data yang diperoleh dari hasil observasi pada lima situ dapat dilihat pada Gambar 4.6. dimana terlihat bahwa ada kecenderungan Pb terlarut lebih banyak dijumpai pada pengambilan contoh kedua dibandingkan dengan yang pertama. Pb terlarut juga lebih banyak dijumpai di permukaan dibandingkan di dasar dan kedalaman *Secchi*. Hal ini tampaknya terkait dengan Pb yang tergolong sebagai pencemar yang bersifat *atmophile* (bersumber terutama dari deposisi atmosferik) yang berpartikel sangat halus sehingga memerlukan waktu yang lebih lama untuk tenggelam ke bagian dasar (Manahan , 2001; Csuros and Csuros , 2002; Stumm and Morgan, 1996; Weiner, 2008).

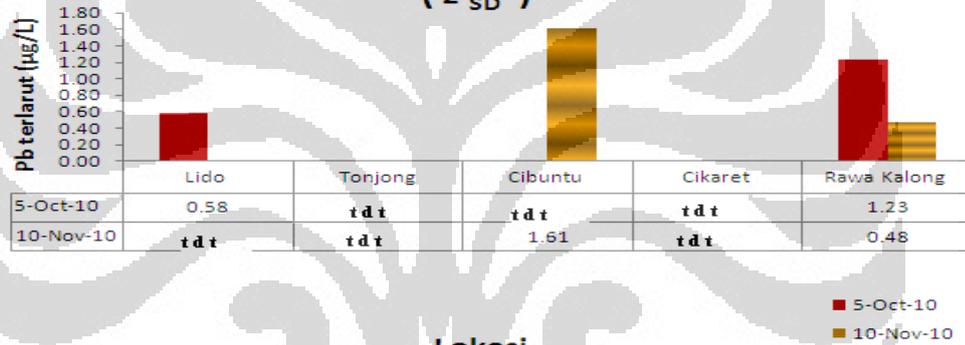
Situ Rawa Kalong memiliki Pb terlarut pada level yang tertinggi. Tampaknya hal ini terkait dengan jenis sumber *input* Pb pada perairannya yaitu kemungkinan berasal dari hasil perlindian pembakaran sampah yang terletak begitu dekat dengan badan situ (Gambar 3.5, Gambar 4.2 dan Tabel 3.5) dan). Hal ini pun kemungkinan juga terkait dengan nilai kesadahan perairan Situ Rawa Kalong yang cukup rendah misalnya bila dibandingkan dengan Situ Lido (Gambar 4.5). Pb terlarut pada kedalaman *Secchi* dan dasar situ paling tinggi dijumpai di Situ Cibuntu, kemungkinan ini dipengaruhi oleh lebih pendeknya kompartemen kolom air dan jenis sumber *input* Pb pada Situ Cibuntu (lihat Tabel 3.3 dan Gambar 3.4) dibandingkan dengan Situ Rawa Kalong (Tabel 3.5 dan Gambar 3.5) terlebih lagi Situ Lido (Tabel 3.1 dan Gambar 3.1).

### Permukaan



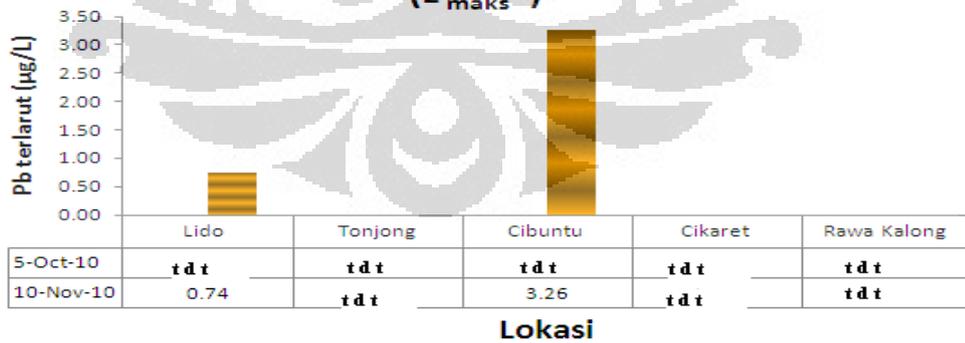
### Lokasi

#### Kedalaman Secchi ( $z_{SD}$ )



### Lokasi

#### Kedalaman maksimum ( $z_{maks}$ )



Gambar 4.6. Distribusi Pb terlarut di lima perairan situ kabupaten Bogor menurut kedalaman

#### 4. 6. Pola distribusi Pb partikulat menurut strata

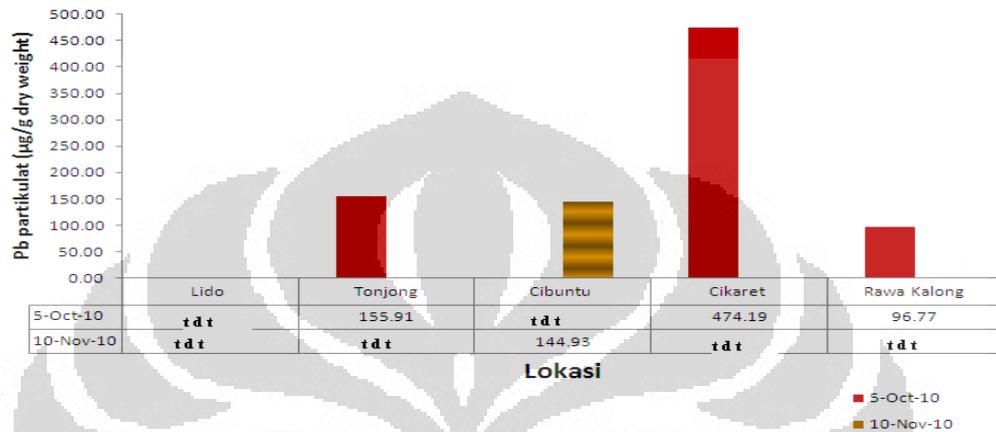
Data hasil pengamatan Pb partikulat dapat dilihat pada Gambar 4.7. Secara umum kandungan rerata Pb partikulat lebih tinggi di permukaan lalu kedalaman *Secchi* dan paling kecil di dasar. Hal ini mencirikan bahwa Pb partikulat ini datang dari deposisi atmosferik. Fakta ini tampaknya terkait dengan fakta bahwa permukaan perairan dan kedalaman *Secchi* pada Situ Cikaret memiliki Pb partikulat tertinggi dibandingkan empat situ lainnya. Hal ini sesuai dengan karakteristik Pb sebagai salah satu logam yang bersifat atmofilik, dimana deposisi atmosferik menjadi sumber utama *input* partikulat Pb ke perairan situ ini (Manahan , 2001; Csuros and Csuros , 2002; Stumm and Morgan, 1996; Weiner, 2008). Partikulat yang terdeposisi di bagian permukaan Situ Cikaret tampaknya belum sepenuhnya mengalami *settling* sampai ke dasar pada saat pengambilan contoh, sehingga porsi partikulat Pb masih banyak dijumpai pada bagian permukaan dan kedalaman *Secchi*.

Sebaliknya dasar perairan Situ Lido menunjukkan Pb partikulat tertinggi (Gambar 4.7) dibandingkan empat situ lainnya. Hal ini mungkin disebabkan oleh kondisi Situ Lido yang sangat tenang pada saat dilakukannya pengambilan contoh sehingga efek pengadukan sedimen dasar perairan oleh gerakan angin menjadi sangat minim, diduga bahan-bahan partikulat pengikat Pb sedang mengalami proses *settling* sehingga Pb partikulat di Situ Lido lebih terkonsentrasi di bagian dasar situ .

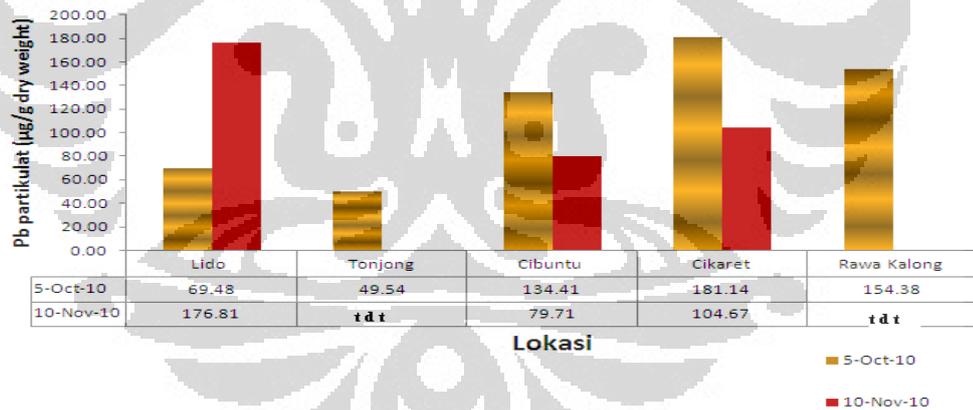
Pada Gambar 4.7 juga terlihat bahwa hampir pada semua situ yang diamati, Pb partikulat pada pengambilan contoh periode kedua jauh lebih rendah dibandingkan yang pertama. Hal ini mungkin disebabkan karena turunnya hujan dua hari berturut-turut sebelum pengambilan contoh periode kedua dilakukan dan ini menyebabkan terjadinya efek pengenceran oleh tambahan *input* air hujan. Bulan Oktober adalah

periode dimulainya musim penghujan dan semakin meningkat menjelang Desember 2010 (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2010).

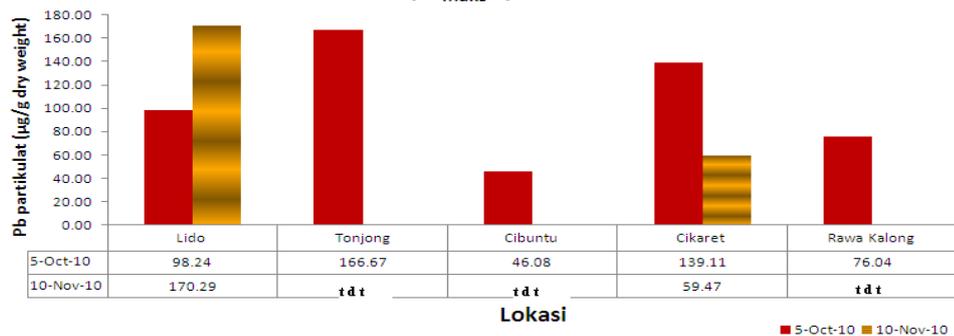
### Permukaan



### Kedalaman Secchi ( $Z_{SD}$ )



### Kedalaman maksimum ( $Z_{maks}$ )



Gambar 4.7. Distribusi Pb partikulat di perairan situ menurut kedalaman

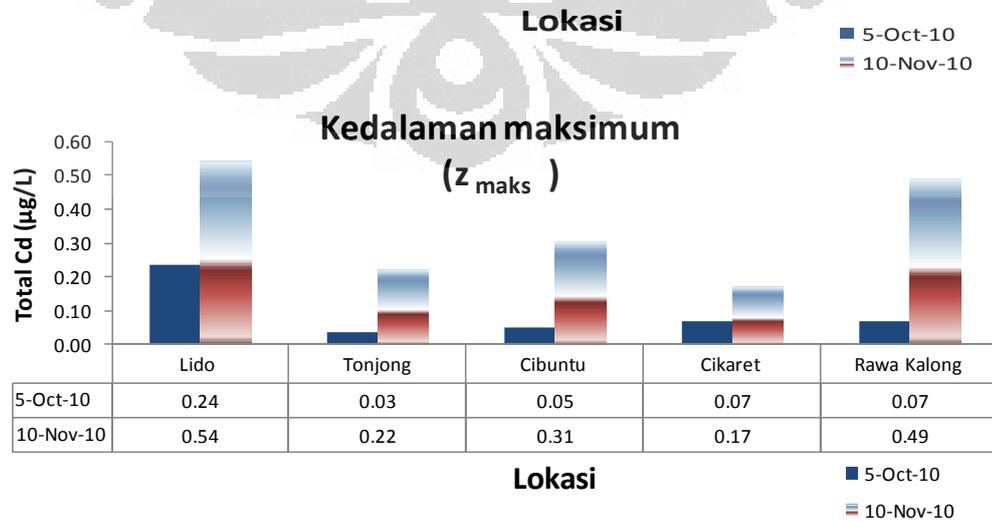
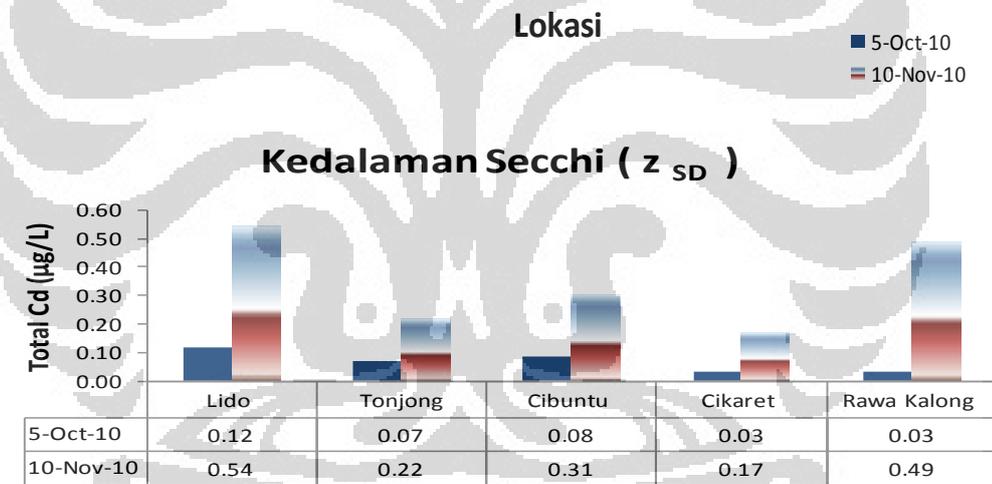
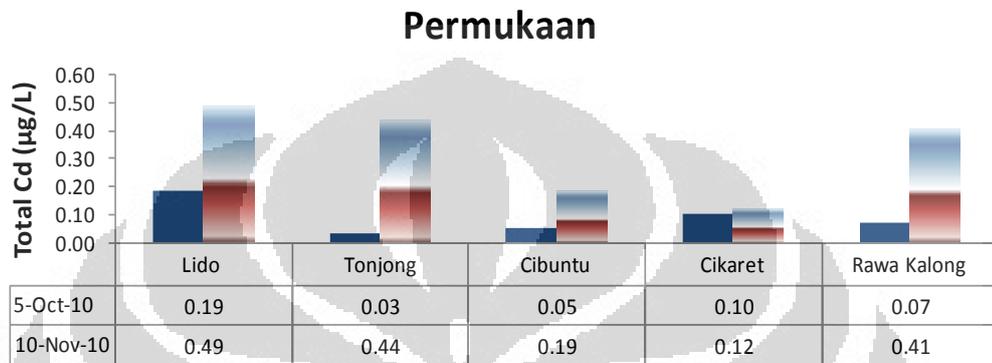
#### 4.7. Pola distribusi total Cd menurut strata

Cd sebagai pencemar yang bersifat mudah berikatan dengan partikulat terutama material organik dan segera membentuk agregat (Weiner, 2008) cenderung lebih terdeposisi di bagian kompartemen sedimen dasar. Efek penambahan *input* Cd dari *surface run off* tampaknya cukup berperan dalam distribusi Cd total pada lima perairan situ tersebut karena pengambilan contoh periode kedua dimana pada periode ini total Cd cenderung lebih tinggi dibandingkan pada periode pertama.

Level total Cd tertinggi dijumpai pada kedalaman *Secchi* dan dasar Situ Lido dibandingkan empat situ lainnya dengan urutan sebagai berikut : Situ Lido>Situ Rawa Kalong>Situ Tonjong>Situ Cibuntu>Situ Cikaret. Rerata konsentrasi Cd total di Situ Lido adalah 10 sampai 20 kali diatas ambang batas Cd yang diperbolehkan untuk menyokong kehidupan akuatik sesuai *Canadian Water Quality Standard* yaitu 0,017 µgCd/L. Tingginya kandungan Cd di perairan Situ Lido ini kemungkinan disebabkan oleh adanya sisa-sisa reruntuhan pesawat *Cessna* jenis *Aves* 185 yang jatuh di perairan ini pada 20 Juni 2004 (Zulkarnain dan Susanto, 2004). Sisa-sisa bangkai pesawat yang telah jatuh tersebut (termasuk juga baterai dan pelapis anti karat yang ada di dalamnya ) kemungkinan mengalami *leaching* sehingga ikut memberi tambahan *input* Cd ke perairan situ ini. Selain itu masih ada sumber lain, yaitu dari deposisi atmosferik, hasil pengelupasan cat (dari keramba apung, badan perahu motor, dan restoran terapung) yang semuanya berada dalam jarak rerata yang relatif dekat dengan titik pengambilan contoh (Tabel 3.1 Gambar 4.2).

Secara umum Cd total di dasar situ sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan dan kedalaman *Secchi*. Hal ini tampaknya terkait dengan karakteristik situ. Situ Rawa Kalong memiliki beberapa sumber *input* total Cd yang sangat potensial lainnya, selain hasil *leaching* dari tempat

penimbunan dan pembakaran sampah yang ada tepat dipinggir situ, yaitu adanya pabrik *electroplating* dan pabrik plastik di sisi bagian barat Situ Rawa Kalong (Gambar 3.5 Tabel 3.5 dan Gambar 4.2), namun *input* total Cd dari kedua sumber potensial ini tidak sebesar pengaruhnya seperti pada kasus Situ Lido.



Gambar 4.8. Distribusi total Cd di lima perairan situ kabupaten Bogor menurut kedalaman

Perairan Situ Tonjong menunjukkan level Cd total yang tinggi setelah Situ Rawa Kalong dan Situ Lido. Kemungkinan hal ini akibat adanya *input* Cd yang berasal dari limbah bengkel/ganti olie yang berada di sekitar Situ Tonjong (Gambar 3.3 dan Tabel 3.3). Tetapi tampaknya karena rerata jarak sumber pencemar terhadap titik pengambilan contoh di Situ Tonjong ini paling jauh dibandingkan dengan posisi titik pengambilan contoh pada empat situ lainnya (Gambar 4.2) maka level total Cd di situ ini menjadi tidak sebesar pada dua situ yang telah dibahas sebelumnya (Situ Rawa Kalong dan Situ Lido).

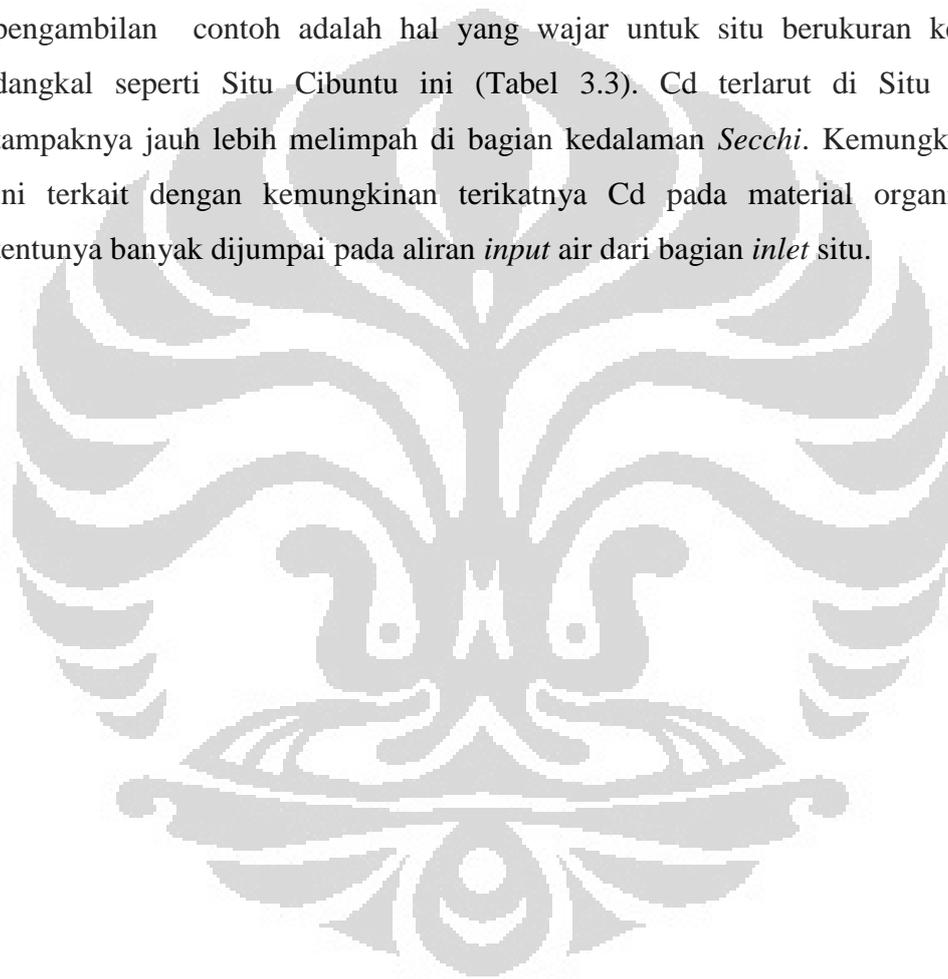
Tampaknya jumlah sumber pencemar, jenis sumber pencemar dan jarak terhadap sumber secara simultan berpengaruh terhadap distribusi total Cd lima perairan Situ yang diamati. Hal ini terindikasi dengan jelas pada kasus Situ Lido, Situ Tonjong dan Situ Rawa Kalong.

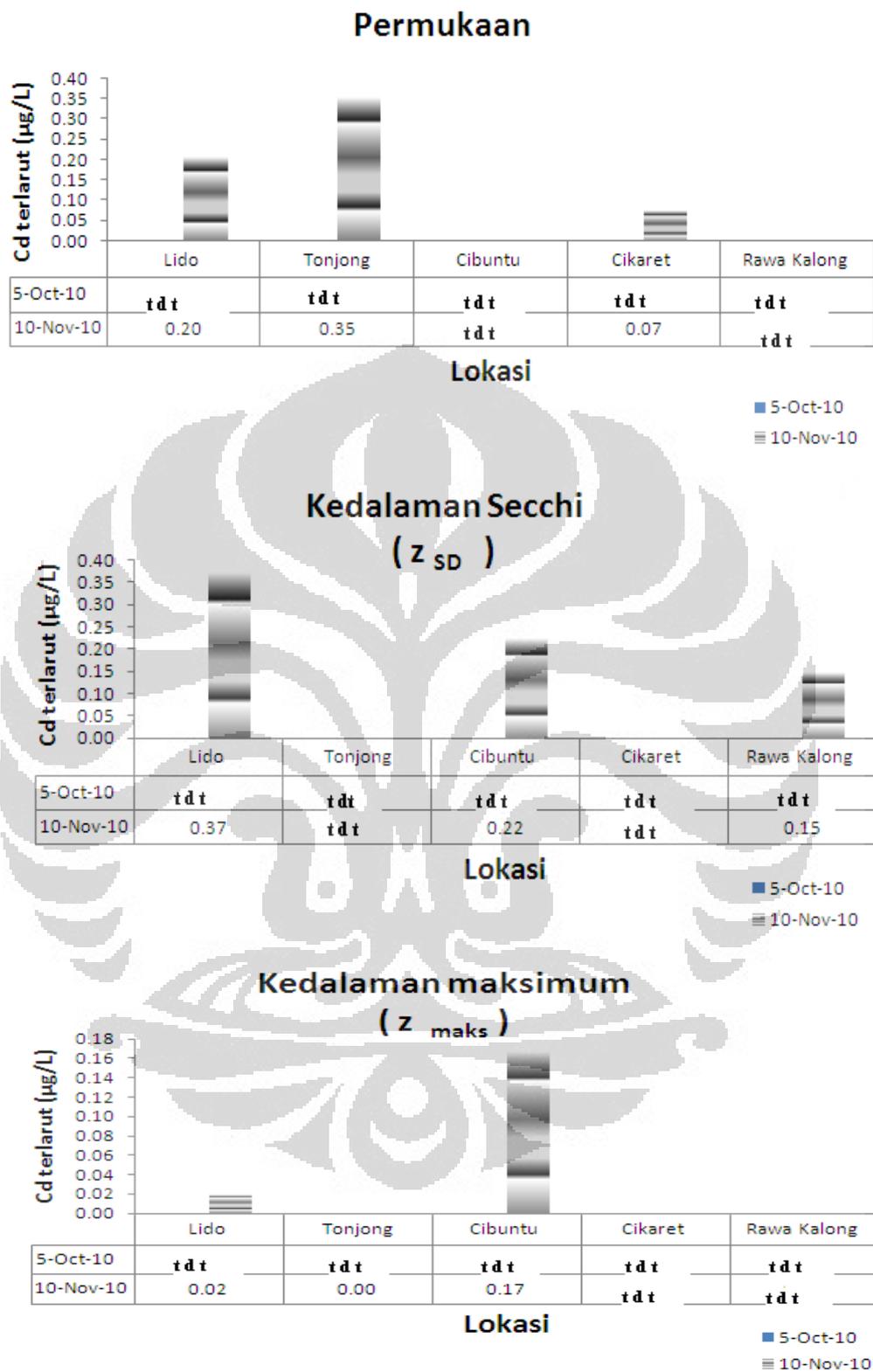
#### **4.8. Pola distribusi Cd terlarut menurut strata**

Data Cd terlarut pada lima perairan situ dapat dilihat seperti pada Gambar 4. 9, dimana secara umum Cd terlarut pada pengambilan contoh periode kedua cenderung lebih tinggi dibandingkan pada periode pertama. Hal ini terkait dengan hujan yang turun selama dua hari berturut-turut sebelum waktu pengambilan contoh, sehingga proses *leaching* sumber pencemar menjadi lebih intensif. Kandungan Cd terlarut terbesar dijumpai pada kedalaman *Secchi* (pada Situ Lido) dan nilai ini tidak terlalu berbeda jauh dengan Cd terlarut di permukaan Situ Tonjong. Tampaknya pada Situ Tonjong yang memiliki sumber potensial Cd cukup signifikan dalam memberi *input* Cd terlarut yaitu dari buangan limbah cair yang berasal dari bengkel ganti oli (Tabel 3.2) karena olie juga mengandung Cd dalam bahan aditifnya. Kandungan Cd pada Situ Tonjong sebagian besar berada berada dalam bentuk terlarut karena sifat airnya yang rendah level kesadiahannya (Gambar 4.4) dan kemungkinan juga karena berada dalam bentuk yang berikatan dengan material organik yang terlarut. Dalam kasus ini tampaknya rerata jarak sumber pencemar terhadap titik pengambilan contoh di Situ Tonjong bukan

menjadi satu-satunya faktor yang mempengaruhi distribusi Cd terlarut (Gambar 4.2).

Situ Cibuntu yang pengambilan contoh keduanya (Gambar 4.9) dilakukan saat setelah dua hari hujan berturut-turut, menerima *input* sampah dan sisa sisa pembakaran sampah yang terbawa melimpah sepanjang tepi saluran *inlet* nya. Situ ini menunjukkan kandungan Cd tertinggi pada bagian kedalaman *Secchi* dan dasar. Distribusi Cd terlarut yang hampir merata pada semua bagian strata pengambilan contoh adalah hal yang wajar untuk situ berukuran kecil dan dangkal seperti Situ Cibuntu ini (Tabel 3.3). Cd terlarut di Situ Cibuntu tampaknya jauh lebih melimpah di bagian kedalaman *Secchi*. Kemungkinan hal ini terkait dengan kemungkinan terikatnya Cd pada material organik yang tentunya banyak dijumpai pada aliran *input* air dari bagian *inlet* situ.

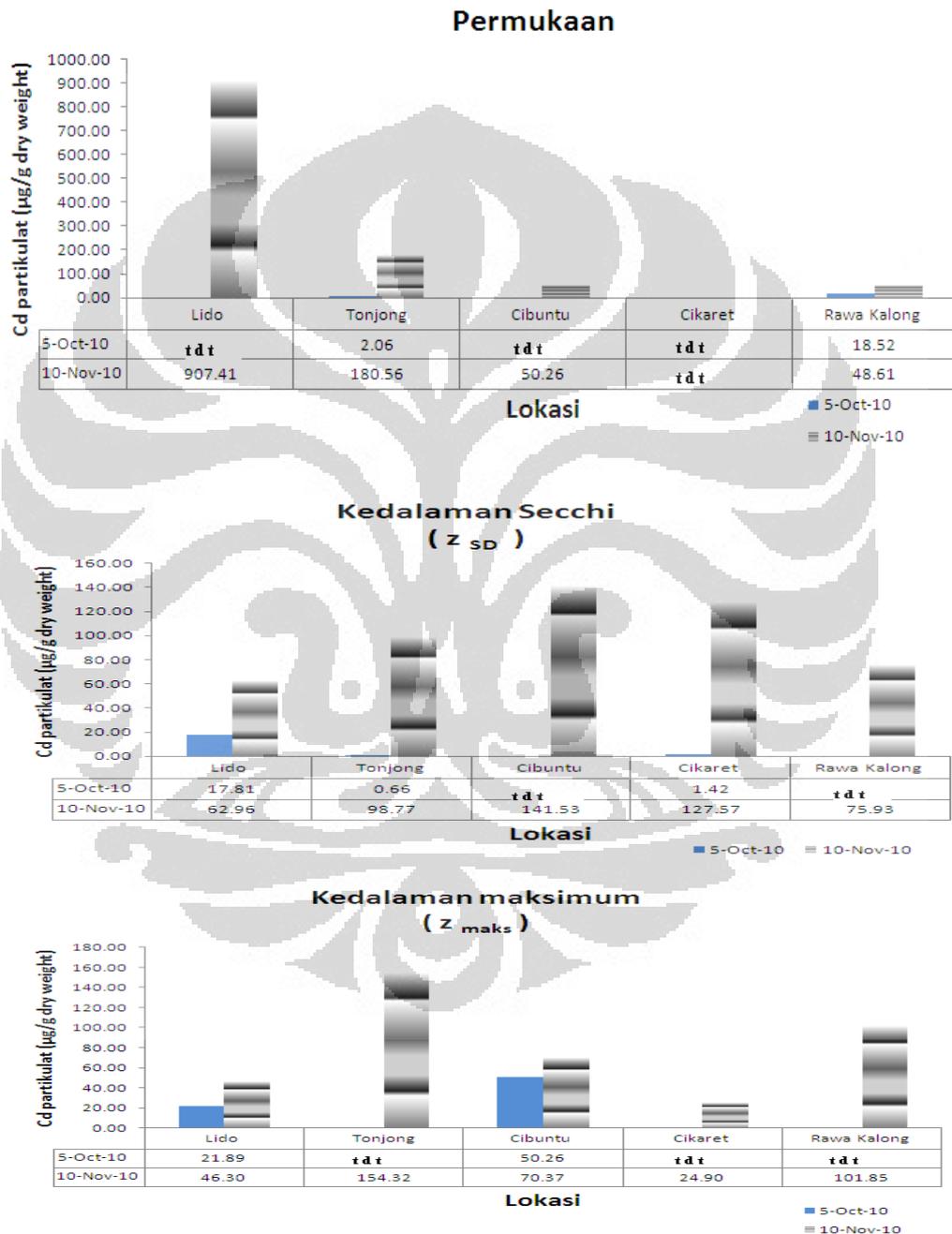




Gambar 4.9. Distribusi Cd terlarut di lima perairan situ Kabupaten Bogor menurut kedalaman

#### 4.9. Pola distribusi Cd partikulat menurut strata

Cd yang teradsorpsi pada partikulat sangat penting untuk diobservasi. Data yang diperoleh pada pengamatan lima situ dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.10. Distribusi Cd partikulat di lima perairan situ Kabupaten Bogor menurut kedalaman

Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa Cd partikulat pada lima situ dalam pengambilan contoh periode kedua jauh lebih tinggi dibandingkan yang pertama. Cd partikulat juga jauh lebih besar kuantitasnya dibagian permukaan perairan terutama di Situ Lido yang mengindikasikan adanya *input* deposisi atmosferik yang lebih dominan atau kemungkinan disebabkan oleh lepasnya kelupasan cat keramba atau cat perahu motor yang banyak dijumpai di Situ Lido (Tabel 3.1). Di sisi lain Cd partikulat pada Situ Tonjong tampaknya berasal dari deposisi atmosferik atau mungkin juga berasal dari kelupasan cat keramba apung (Tabel 3.2).

Tampaknya *input* Cd partikulat pada saat setelah turun hujan sangat berpengaruh pada strata kedalaman *Secchi* pada lima situ terutama pada Situ Tonjong, Situ Cibuntu dan Situ Cikaret (Gambar 4.10). Situ Cibuntu terlihat memiliki Cd partikulat tertinggi di bagian kedalaman *Secchi*. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh jenis dan jarak rerata titik pengambilan contoh terhadap sumber pencemar di sekitarnya (Tabel 3.3 dan Gambar 4.2). *Surface run off* hasil pembakaran sampah serta timbunan sampah yang terbawa arus air melalui saluran *inlet* situ Cibuntu tampaknya menjadi sumber *input* Cd partikulat. Cd partikulat yang berasal dari sumber pencemar di Situ Cikaret dan Situ Tonjong (Tabel 3.4 dan Tabel 3.2) yang tampaknya lebih terkonsentrasi di bagian kedalaman *Secchi* mengindikasikan bahwa kemungkinan Cd ini terikat dalam biomasa fitoplankton ataupun partikel lain yang lebih banyak terkonsentrasi di strata kedalaman *Secchi*.

Dalam hal ini kuantitas Cd partikulat di Situ Cikaret sedikit lebih tinggi dibandingkan pada Situ Tonjong. Hal ini terkait jarak rerata terhadap keseluruhan jenis sumber pencemar (*Total Point Sources*, TPS) pada Situ Tonjong lebih jauh (140,5 m) dibandingkan pada Situ Cikaret yang hanya 120,67 m (Gambar 4.2) sehingga partikulat Cd sudah mengendap terlebih dulu dalam perjalanannya sebelum mencapai perairan situ. Cd partikulat di bagian dasar Situ Tonjong (Gambar 4.10), berada pada level tertinggi

dibandingkan empat situ lainnya meskipun hanya 0,7 kali dari level Cd partikulat yang dijumpai pada permukaan Situ Lido. Sepertinya pada saat pengambilan contoh di Situ Tonjong dilakukan, partikulat yang menyerap Cd ini sudah berada pada tahap akhir proses *settling* pada permukaan sedimen dasar.

#### **4.10. Pola distribusi Pb dan Cd dalam sedimen**

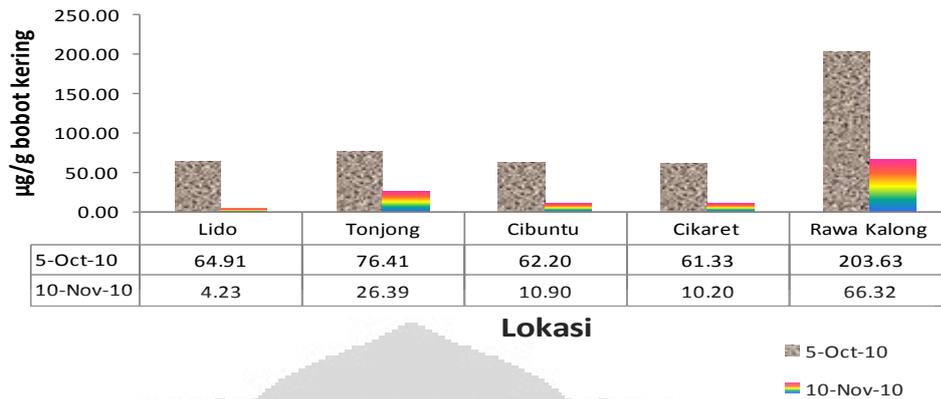
Data distribusi Pb dan Cd dalam sedimen pada lima situ yang diamati tersaji dalam Gambar 4.10. Pb dalam sedimen di Rawa Kalong pada lima situ cenderung lebih tinggi saat pengambilan contoh periode pertama. Hal ini mungkin karena pada pengambilan contoh periode pertama intensitas curah hujan tidak setinggi pada pengambilan contoh periode kedua, sehingga pengaruh pengadukan sedimen dasar oleh gerakan air menjadi lebih minim pada pengambilan contoh periode pertama dibandingkan pada periode kedua. Pb dalam sedimen di Situ Rawa Kalong empat kali lebih tinggi dibandingkan dengan empat situ lainnya. Kecuali sedimen Situ Rawa Kalong, rerata Pb dalam sedimen empat situ lainnya tidak begitu jauh dari *background level* dibandingkan dengan sedimen danau-danau di Canada yaitu  $<35,0 \mu\text{g/g}$  (*Canadian council of Minister of environment, 1999*).

Sedimen dasar di Situ Rawa Kalong ternyata memiliki kandungan Cd tertinggi (11 sampai 20 kali lebih besar) dibandingkan empat sedimen situ lainnya. Pb dibandingkan Cd memiliki afinitas yang lebih besar terhadap oksida (Tessier dalam Buffle and DeVitre, 1994; Stumm and Morgan, 1996). Faktor yang sangat mempengaruhi tingkah laku Cd dan Pb di lingkungan akuatik adalah pH, kesadahan total, jenis dan kelimpahan ligan organik, hidroksida dan anion yang terdapat di perairan. Situ Rawa Kalong bila dilihat dari jenis sumber bahan pencemar yang ada di sekitarnya terutama adanya pabrik plastik, *electroplating* dan tempat penimbunan/pembakaran sampah (Tabel 3.5) dan jarak rerata terhadap

sumber pencemar (Gambar 4.2) mengindikasikan adanya potensi dijumpainya faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tingkah laku Pb dan Cd seperti yang dikemukakan oleh Tessier dalam Buffle and DeVitre (1994) dan Stumm and Morgan (1996) tersebut di atas.

Cd dikenal memiliki afinitas tinggi terhadap permukaan partikel yang bermuatan negatif sehingga Cd cenderung lebih mudah mengendap ke permukaan sedimen (Stumm and Morgan, 1996). Di Canada, aktifitas antropogenik menyumbang 82 % masuknya Cd di lingkungan akuatik. Menurut *Canadian Council of Minister of Environment* (1999) *background level* Cd dalam sedimen danau-danau di Canada adalah 0,32 µg/g. Kandungan Cd dalam sedimen lima situ terutama Situ Rawa Kalong jauh di atas nilai *background level* Cd dalam sedimen danau di Canada. Sesuai sifat Cd di lingkungan akuatik seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tampaknya potensi terjadinya bahaya bioakumulasi yang berlanjut pada biomagnifikasi sangat mungkin terjadi pada lima perairan situ yang diobservasi ini terutama di Situ Rawa Kalong.

### Pb dalam sedimen di perairan situ



### Cd dalam sedimen di perairan situ



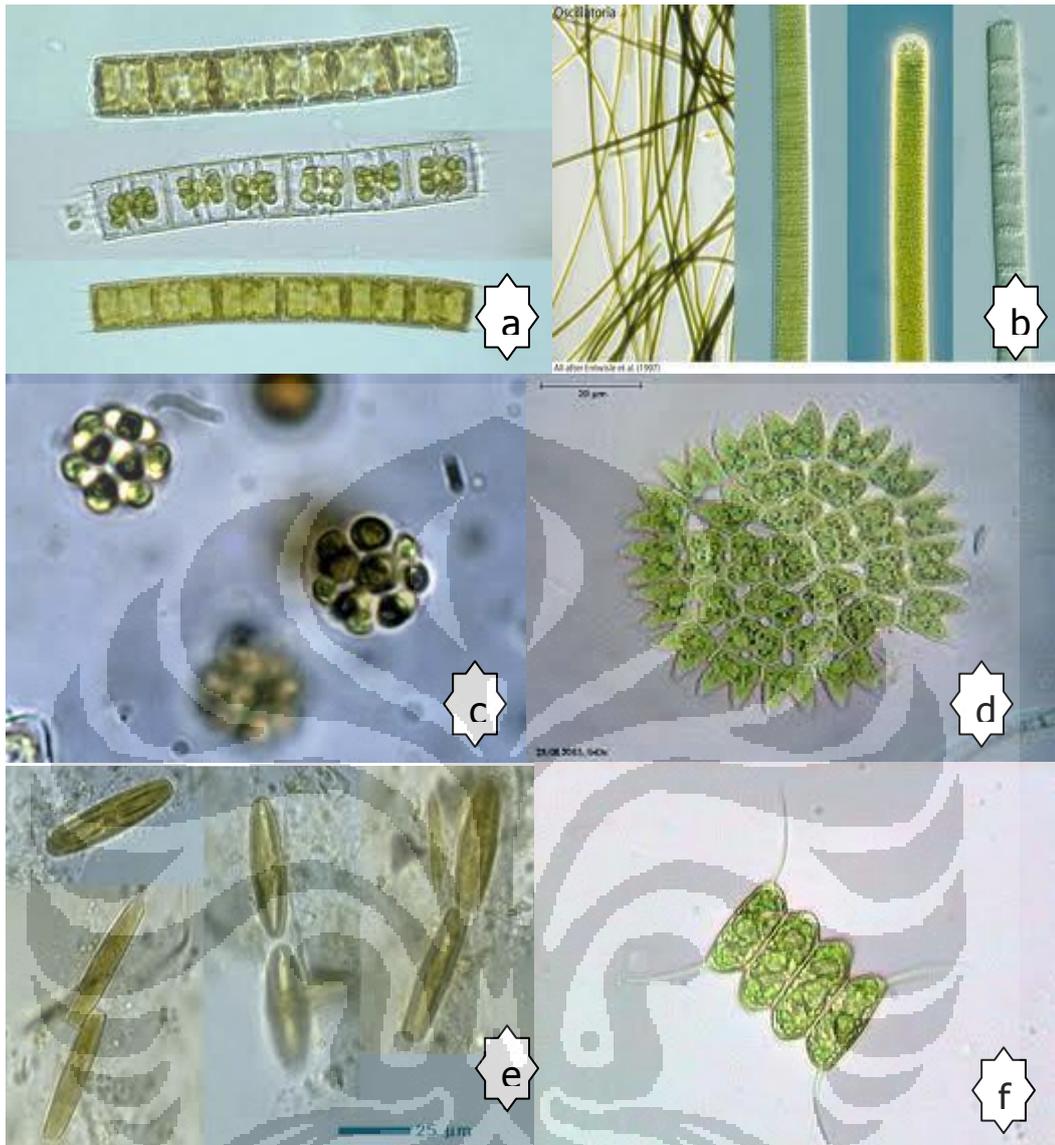
Gambar 4.11. Distribusi Pb dan Cd dalam sedimen di lima perairan situ Kabupaten Bogor

#### 4.11. Pola kelimpahan fitoplankton

Data hasil identifikasi jenis dan kelimpahan fitoplankton pada saat pengambilan contoh periode pertama tersaji dalam Tabel 4.2(a) dan 4.2 (b) dan periode kedua pada Tabel 4.3 (a) dan 4.3 (b). Pada pengambilan contoh periode pertama kelimpahan total fitoplankton tertinggi di jumpai di Situ Cibuntu pada kedalaman *Secchi* (380.700 individu/L) dengan 18 jenis fitoplankton yang didominasi oleh Chrysophyta berjenis *Melosira granulata* dengan jumlah individu per liternya sebanyak 287.280 (Tabel 4.2 (b)). Hal ini mengindikasikan bahwa jenis *M.granulata* adalah yang paling toleran terhadap kondisi Situ Cibuntu.

Situ Rawa Kalong bagian permukaan menempati urutan kedua dalam jumlah fitoplankton yaitu dengan kelimpahan total fitoplankton sebanyak 288.150 individu/L dengan 15 jenis fitoplankton yang didominasi oleh Cyanophyta berjenis *Oscillatoria* sebanyak 249.750 individu/L (Tabel 4.2 (a)). Situ Rawa Kalong di bagian kedalaman *Secchi* juga memiliki kelimpahan dominan jenis *Oscillatoria* sp 120.300 individu/L selain tujuh jenis fitoplankton dominan lainnya (Tabel 4.2 (a)). Berdasarkan data tersebut dapat dikatakan bahwa Situ Rawa Kalong tergolong sebagai perairan yang tercemar berat karena jenis-jenis anggota genus *Oscillatoria* adalah fitoplankton yang toleran terhadap kondisi perairan yang tercemar (Bellinger and Sigeo, 2010; Wetzel, 2001).

Situ Cikaret, Situ Tonjong dan Situ Lido permukaan ternyata memiliki kelimpahan fitoplankton yang lebih banyak dibandingkan pada kedalaman *Secchi*-nya. Situ Lido memiliki kelimpahan individu yang didominasi Chlorophyta berjenis *Sphaerocystis schroeteri* yang lebih besar dibanding Situ Cikaret yang juga didominasi Cyanophyta berjenis *Oscillatoria* sp (Tabel 4.2 (a)). Jadi setidaknya ada enam jenis fitoplankton yang dominan pada lima situ yang diamati yaitu *M.granulata*, *Oscillatoria* sp, *Sphaerocystis schroeteri*, *Pediastrum duplex*, *Navicula* sp dan *Scenedesmus quadricauda* (Gambar 4.12).



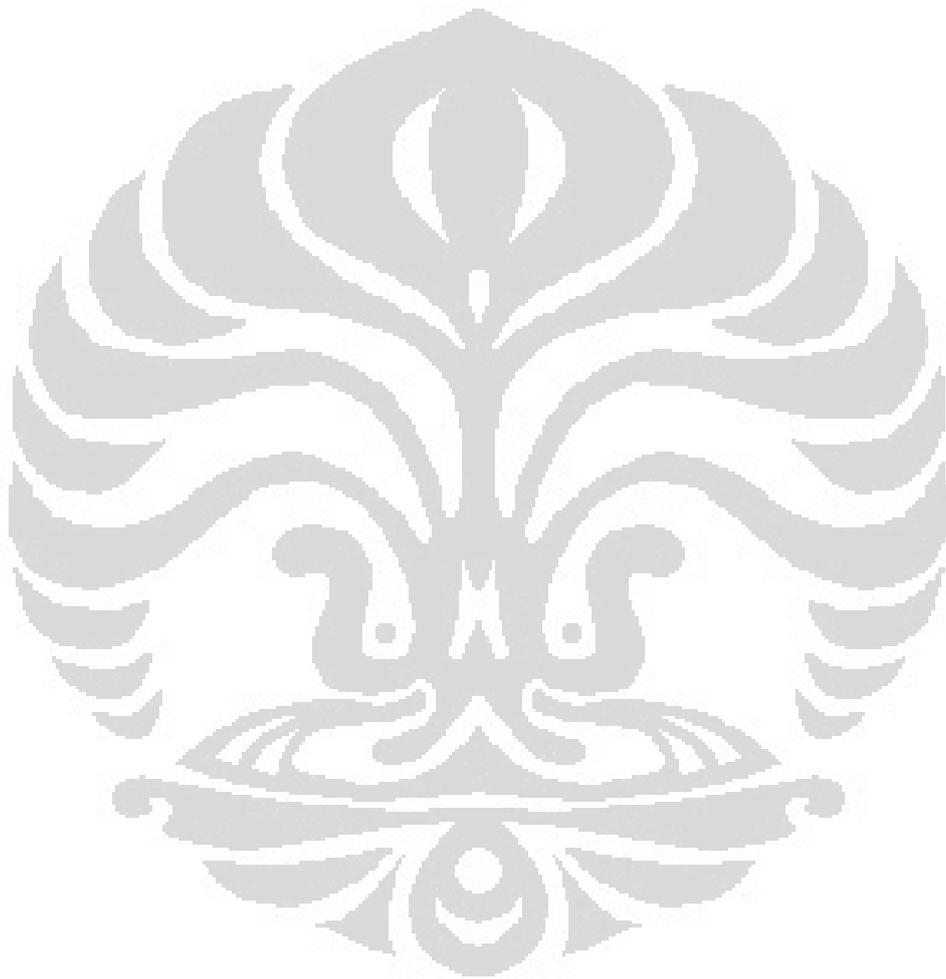
Gambar 4.12. Jenis fitoplankton yang dominan pada pengambilan contoh pertama. Berturut turut a=*M.granulata*; b= *Oscillatoria sp*; c= *Sphaerocystis schroeteri*; d=*Pediastrum duplex*; e=*Navicula sp*; f= *Scenedesmus quadricauda*

Terminologi *Algal blooming* yaitu suatu kondisi dimana konsentrasi individu fitoplankton mencapai kelimpahan individu sebanyak 100.000-1000.000 sel/L ([http://www.oilgai.com/ref/glos/algal\\_blooms.html](http://www.oilgai.com/ref/glos/algal_blooms.html) ) dapat dikatakan telah terjadi pada jenis *Oscillatoria sp* pada Situ Rawa Kalong selama dua kali observasi (Tabel 4.2(a) dan 4.3 (a)) sedangkan *M.granulata* pada Situ Cibuntu hanya teramati satu kali mengalami blooming. Pada periode pengambilan contoh yang kedua, bagian

permukaan Situ Rawa Kalong, Situ Cikaret, dan Situ Tonjong cenderung memiliki kelimpahan total fitoplankton yang lebih besar dibandingkan pada kedalaman *Secchi*-nya. Sebaliknya Situ Lido dan Situ Cibuntu pada bagian kedalaman *Secchi* justru memiliki kelimpahan total fitoplankton yang lebih besar (Tabel 4.3 (a) dan 4.3 (b)). Chlorophyta dan Cyanophyta pada pengambilan contoh kedua cenderung lebih melimpah dibanding pengambilan contoh pada periode pertama terutama di Situ Rawa Kalong (Gambar 4.13). *Mycrocystis aeruginosa* pada periode pengambilan contoh yang kedua meningkat tajam di Situ Tonjong mengindikasikan bahwa situ yang dihuni oleh jenis ini menerima *input* nutrisi yang tinggi pada saat itu.

Baik pada pengambilan contoh pertama maupun kedua tidak dijumpai adanya Cyanophyta di Situ Cikaret pada kedalaman *Secchi* dan pada permukaan Situ Lido. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi kedua situ ini lebih baik dibandingkan Situ Rawa Kalong. Pada pengambilan contoh periode kedua, Situ Lido, Situ Cikaret, Situ Tonjong dan Situ Cibuntu (baik pada permukaan maupun pada kedalaman *Secchi*-nya) kelimpahan total fitoplanktonnya jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan pengambilan contoh periode pertama. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh adanya efek pengenceran karena turunnya hujan. Kecuali pada permukaan Situ Tonjong (pada periode pengambilan contoh pertama jauh lebih rendah dibandingkan pada pengambilan contoh periode kedua), secara umum jumlah jenis fitoplankton pada pengambilan contoh pertama jauh lebih banyak dibandingkan pada pengambilan contoh periode kedua terutama Chlorophyta (Gambar 4.14). Kehidupan fitoplankton sangat dipengaruhi oleh polusi logam berat yang berasal dari resuspensi sedimen dan *industrial effluent* (Bellinger and Sigeo ,2010; Croteau *et al.*, 2005). Kedua sumber pencemar ini secara definitif ada di sekitar Situ Rawa Kalong dan dari hasil penelitian ini tampak bahwa Cyanophyta berjenis *Oscillatoria sp*, *Chroococcus minutes*, *Chroococcus limneticus*, *Anabaena sp* dan *Spirullina sp* sangat toleran terhadap *input* Pb dan Cd dari sumber

potensial yang ada di sekitar Situ Rawa Kalong (Gambar 4.13 dan Gambar 4.14).

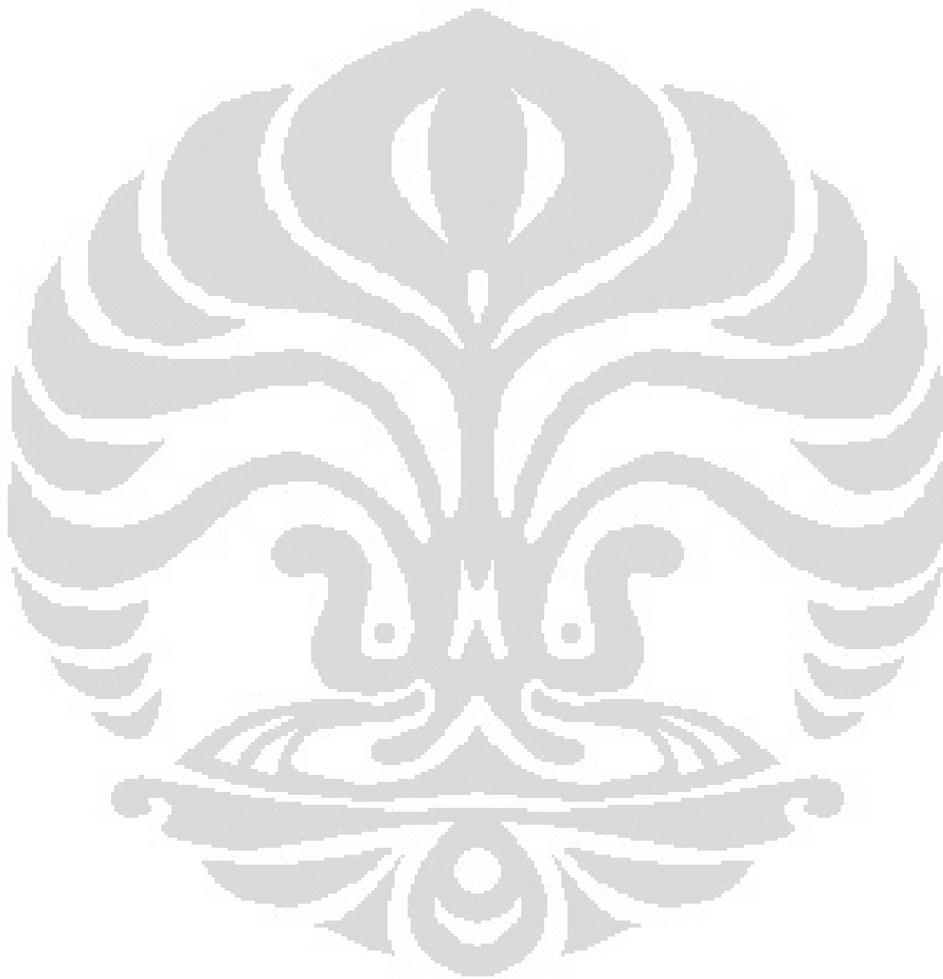


Tabel 4.2(a). Kelimpahan jenis dan kelimpahan fitoplankton menurut strata kedalaman pada periode pengambilan contoh pertama (*Pengambilan contoh 1*)

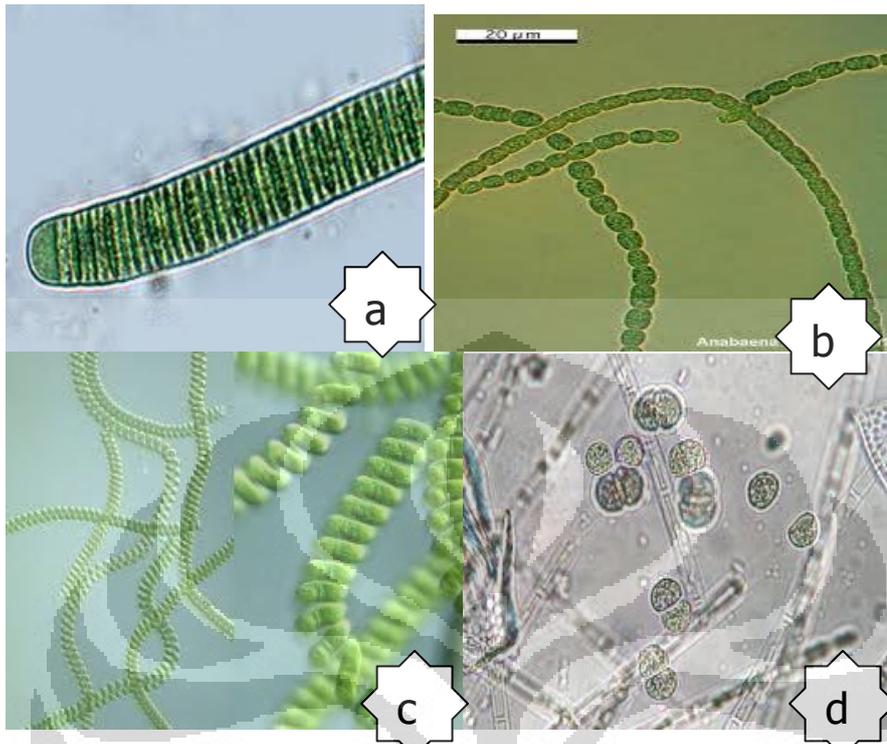
Nama	individu/L					
	RawaKalong 0 m	RK Secchi	Cikaret 0 m	Cikaret Secchi	Lido 0 m	Lido Secchi
Sampling 1 : Oktober 2010						
CYANOPHYTA						
<i>Chroococcus minutus</i>		450				
<i>Merismopedia punctata</i>	5,250	750				
<i>Microcystis aeruginosa</i>	300					300
<i>Oscillatoria sp</i>	249,750	101,625	5000			
CHLOROPHYTA						
<i>Actinastrum</i>						
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>		225				
<i>Chlorella sp 1</i>						450
<i>Closterium sp1</i>			300			
<i>Coelastrum microporum</i>				150		1,200
<i>Coelastrum scabrum</i>						
<i>Coelastrum sphaerium</i>						
<i>Cosmarium sp 1</i>	750					
<i>Crucigenia apiculata</i>						
<i>Crucigenia irregularis</i>			100			
<i>Dictyosphaerium</i>	1,350					150
<i>Golenkinia radiata</i>			200			
<i>Kirchneriella lunaris</i>						
<i>Oocystis sp</i>						600
<i>Pediastrum duplex</i>	300		1500			
<i>Planktosphaeria</i>						150
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	150	75				
<i>Scenedesmus bijuga</i>	450					
<i>Scenedesmus denticulatus</i>			200			
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	600					
<i>Scenedesmus longus</i>			100			
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1,950	1,050	300			
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>				600	500	7,350
<i>Staurastrum megacanthum</i>						
<i>Staurastrum sp1</i>	150					
<i>Ulothrix varbilis</i>					6,300	
<i>Ulothrix sp1</i>			2500			450
CHRYSOPHYTA						
<i>Achnantes brevipes</i>					100	
<i>Melosira granulata</i>	2,850	150	100			3,000
<i>Navicula falasiensis</i>	15,150		500			
<i>Navicula elegans</i>	9,000	14,625	100			
<i>Rhizosolenia longiseta</i>			1100			
EUGLENOPHYTA						
<i>Euglena sp1</i>		375	2400			
<i>Phacus sp1</i>	150	975	400			
<i>Sp 1</i>					29,500	
<b>Jumlah total</b>	<b>288,150</b>	<b>120,300</b>	<b>14,800</b>	<b>750</b>	<b>36,400</b>	<b>13,650</b>

Tabel 4.2(b). Kelimpahan jenis dan kelimpahan fitoplankton menurut strata kedalaman pada periode pengambilan contoh pertama (*Pengambilan contoh 1*)

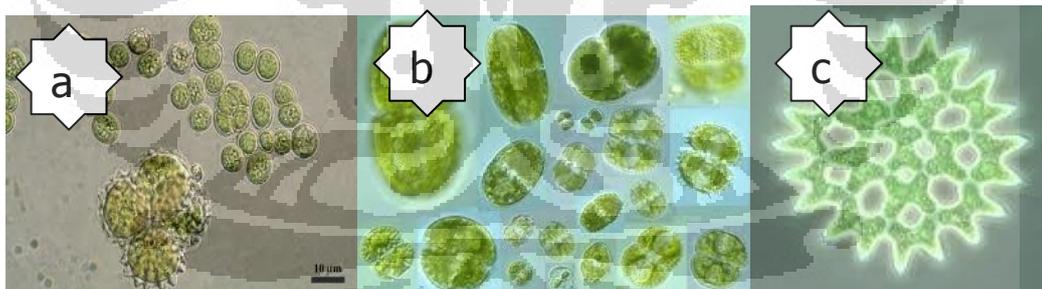
(lanjutan)



Nama	(individu/L)			
	Tonjong 0 m	Tonjong Secchi	Cibuntu 0 m	Cibuntu Secchi
Sampling 1 : Oktober 2010				
CYANOPHYTA				
<i>Aphanocapsa</i> sp		900	150	
<i>Chroococcus limneticus</i>	2,100	2,550	1,050	
<i>Chroococcus minutus</i>	600	2,850		540
<i>Merismopedia punctata</i>				
<i>Microcystis aeruginosa</i>	450		150	
<i>Oscillatoria</i> sp 1				
CHLOROPHYTA				
<i>Actinastrum</i> sp	150			1,080
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>			1,650	3,780
<i>Closterium</i> sp		150		
<i>Coelastrum microporum</i>	1,950		150	
<i>Coelastrum scabrum</i>				540
<i>Coelastrum sphaerium</i>	3,600	2,850	1,200	540
<i>Crucigenia apiculata</i>				1,080
<i>Crucigenia irregularis</i>				
<i>Dictyosphaerium</i>	3,150			
<i>Golenkinia radiata</i>				
<i>Kirchneriella lunaris</i>	4,200	900	150	
<i>Oocystis</i> sp1			150	540
<i>Pediastrum duplex</i>				64,260
<i>Planktosphaeria</i> sp			2,550	
<i>Scenedesmus arcuatus</i>				540
<i>Scenedesmus bijuga</i>				1,080
<i>Scenedesmus denticulatus</i>				
<i>Scenedesmus dimorphus</i>			600	2,700
<i>Scenedesmus longus</i>				
<i>Scenedesmus quadricauda</i>			900	10,260
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	6,150	2,400	1,650	1,080
<i>Staurastrum megacanthum</i>				1,620
<i>Ulothrix varibilis</i>				
<i>Ulothrix</i> sp1	150			
CHRYSOPHYTA				
<i>Achnantes brevipes</i>				
<i>Melosira granulata</i>	150	300	15,900	287,280
<i>Navicula falasiensis</i>			450	2,160
<i>Navicula elegans</i>			150	540
<i>Rhizosolenia longiseta</i>				
EUGLENOPHYTA				
<i>Euglena</i> sp				1,080
<i>Phacus</i> sp2				
Sp 1				
<b>Jumlah total</b>	<b>22,650</b>	<b>12,900</b>	<b>26,850</b>	<b>380,700</b>

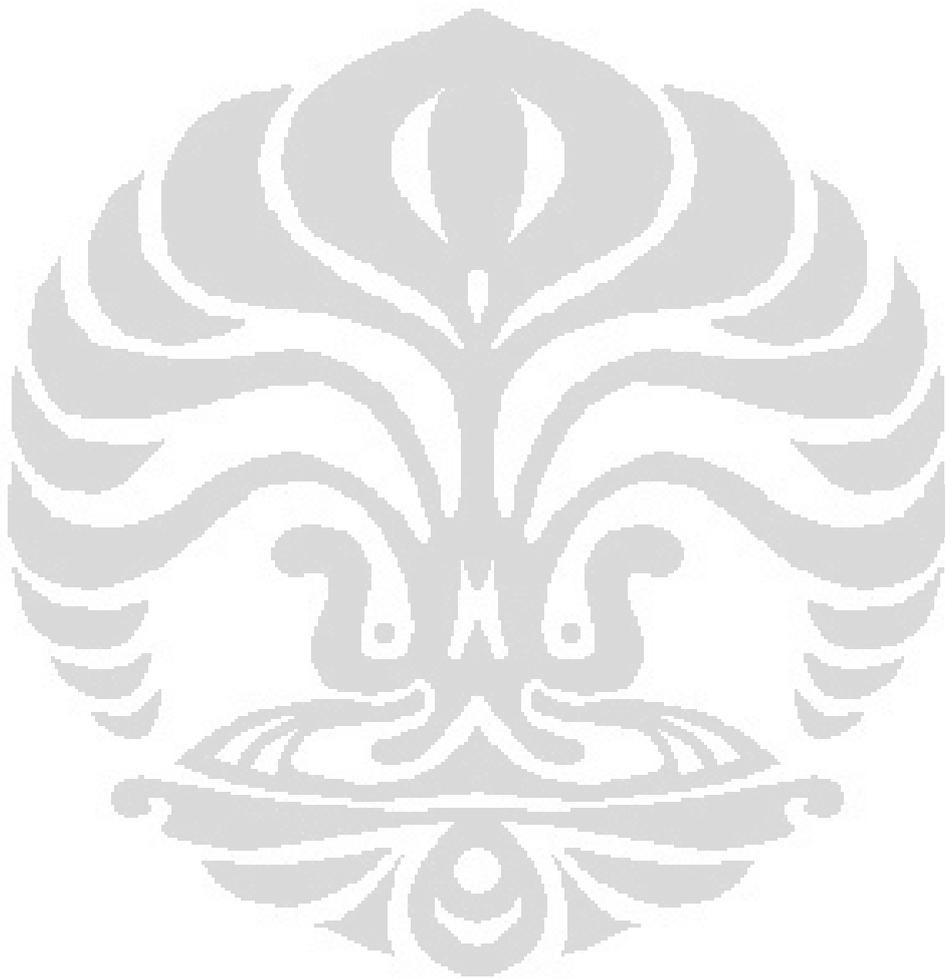


Gambar 4.13. Fitoplankton Cyanophyta di Situ Rawa Kalong.,  
 a= *Oscillatoria sp*; b= *Anabaena sp*; c= *Spirulina sp*; d= *Chroococcus limneticus*



Gambar 4.14. Fitoplankton Chlorophyta yang banyak ditemukan pada pengambilan contoh kedua. Dimana a= *Coelastrum scabrum*; b= *Cosmarium sp*; c= *Pediastrum duplex*

Tabel 4.3(a). Kelimpahan jenis dan kelimpahan fitoplankton menurut strata kedalaman pada periode pengambilan contoh kedua (*Pengambilan contoh 2*)



Nama	individu /L					
	RawaKalong 0 m	RawaKalong Secchi	Cikaret 0 m	Cikaret Secchi	Lido 0 m	Lido Secchi
Sampling 2: November 2010						
CYANOPHYTA						
<i>Anabaena</i>	3,780					
<i>Chroococcus limneticus</i>	3,780	300				
<i>Chroococcus minutus</i>	8,640	750				
<i>Merismopedia punctata</i>						
<i>Microcystis aeruginosa</i>						
<i>Oscillatoria</i>	1,028,160	88,500		150		
<i>Spirulina</i>	540					
CHLOROPHYTA						
<i>Actinastrum</i>	1,620	300				
<i>Ankistrodesmus brunii</i>						
<i>Ankistrodesmus convolutus</i>	5,400	450	150			
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>				150		
<i>Characium</i>						
<i>Characium limneticum</i>	540					
<i>Chlorella</i>						
<i>Closterium</i>						
<i>Coelastrum microporum</i>			150		150	150
<i>Coelastrum scabrum</i>						
<i>Coelastrum sphaerium</i>			150			
<i>Cosmarium convergens</i>	8,100	900				
<i>Crucigenia apiculata</i>			150	300		
<i>Crucigenia irregularis</i>						
<i>Desmidium</i>						
<i>Dictyosphaerium</i>	1,620	450				
<i>Golenkinia radiata</i>						
<i>Kirchneriella lunaris</i>						
<i>Oocystis</i>						
<i>Pediastrum duplex</i>			150	150		
<i>Planktosphaeria</i>						
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	540					
<i>Scenedesmus bernardii</i>	540					
<i>Scenedesmus bijuga</i>						
<i>Scenedesmus denticulatus</i>						
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	540					
<i>Scenedesmus longus</i>						
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	8,100	1,350	150			
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	4,860	750			750	
<i>Staurastrum megacanthum</i>						
<i>Staurastrum</i>						
<i>Ulothrix varibillis</i>						
<i>Ulothrix</i>						
CHRYSOPHYTA						
<i>Achnantes brevipes</i>						
<i>Melosira granulata</i>			300		1,350	2,250
<i>Navicula falasiensis</i>	22,140	3,600				
<i>Navicula elegans</i>	8,100	2,100				
<i>Rhizosolenia longiseta</i>						
<i>Synedra ulna</i>		150				
EUGLRNOPHYTA						
<i>Euglena</i>						
<i>Phacus</i>	1,080					
<i>Sp 1</i>					150	150
<b>Jumlah total</b>	<b>1,108,080</b>	<b>99,600</b>	<b>1,200</b>	<b>900</b>	<b>2,250</b>	<b>2,550</b>

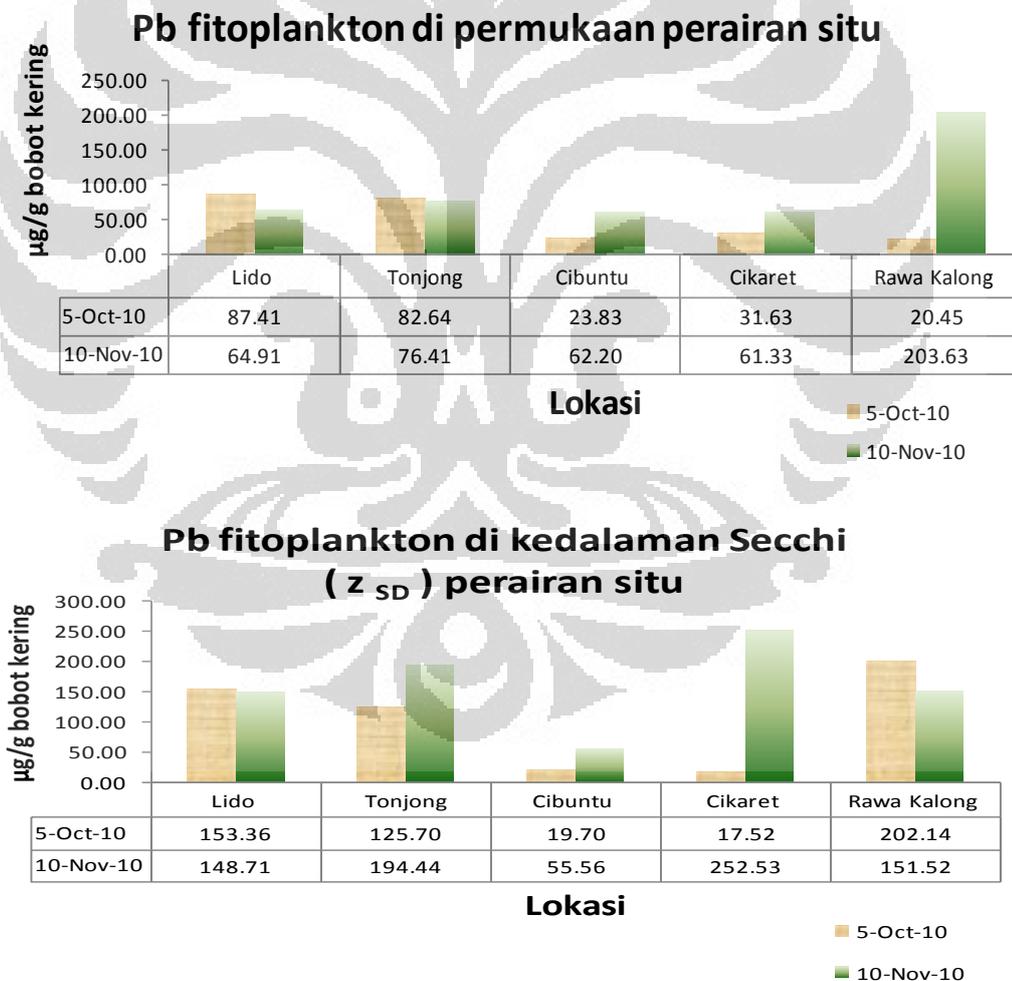
Tabel 4.3(b). Kelimpahan jenis dan kelimpahan fitoplankton menurut strata kedalaman pada periode pengambilan contoh kedua (*Pengambilan contoh 2*)

(lanjutan)

Nama	individu /L			
	Tonjong 0 m	Tonjong Secchi	Cibuntu 0 m	Cibuntu Secchi
Sampling 2: November 2010				
CYANOPHYTA				
<i>Anabaena</i>				
<i>Aphanocapsa</i>		150		
<i>Chroococcus limneticus</i>	2,700	300		
<i>Chroococcus minutus</i>	3,240	600		
<i>Merismopedia punctata</i>			150	150
<i>Microcystis aeruginosa</i>	1,620			
<i>Oscillatoria</i>				
<i>Spirulina</i>				
CHLOROPHYTA				
<i>Actinastrum</i>				
<i>Ankistrodesmus brunii</i>				300
<i>Ankistrodesmus convolutus</i>				
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>				
<i>Characium</i>	540			
<i>Characium limneticum</i>				
<i>Chlorella</i>				
<i>Closterium</i>				
<i>Coelastrum microporum</i>	3,240	450	300	900
<i>Coelastrum scabrum</i>				
<i>Coelastrum sphaerium</i>	7,560	1,350		150
<i>Cosmarium convergens</i>				
<i>Crucigenia apiculata</i>				
<i>Crucigenia irregularis</i>				150
<i>Dictyosphaerium</i>	1,620	450	450	450
<i>Golenkinia radiata</i>				
<i>Kirchneriella lunaris</i>	540	150	300	300
<i>Oocystis</i>			150	
<i>Pediastrum duplex</i>			300	1,050
<i>Scenedesmus dimorphus</i>			300	300
<i>Scenedesmus longus</i>				
<i>Scenedesmus quadricauda</i>			150	150
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	51,840	1,950		
<i>Staurastrum megacanthum</i>				150
<i>Staurastrum</i>				
<i>Ulothrix varibilis</i>	540			
CHRYSOPHYTA				
<i>Achnantes brevipes</i>				
<i>Melosira granulata</i>	18,900		6,300	9,600
<i>Navicula falasiensis</i>			450	1,050
<i>Navicula elegans</i>			300	
<i>Rhizosolenia longiseta</i>				
<i>Synedra ulna</i>				
EUGLENOPHYTA				
<i>sp1</i>	1,080			
<b>Jumlah total</b>	<b>93,420</b>	<b>5,400</b>	<b>9,150</b>	<b>14,700</b>

#### 4.12. Pola bioakumulasi Pb dan Cd dalam komunitas fitoplankton

Hal mendasar dalam kehidupan organisme, adalah kemampuannya dalam mentransformasi atau mentransduksi energi yang diperoleh dari lingkungannya menjadi energi seluler sehingga dapat digunakan untuk berbagai aktifitas yang menyebabkan kehidupan sel menjadi unik (Stumm and Morgan, 1996; Bellinger and Sigeo, 2010). Kemampuan fitoplankton untuk membioakumulasi Pb dan Cd juga bagian dari keunikannya sebagai makhluk hidup yang sangat menarik untuk dipelajari dan kemudian dapat dimanfaatkan bagi kehidupan manusia (Bellinger and Sigeo 2010).



Gambar 4.15. Pb dalam fitoplankton pada lima situ yang diamati menurut kedalaman

### **Pb dalam biomasa fitoplankton,**

Data bioakumulasi Pb dalam fitoplankton yang diperoleh pada penelitian ini disajikan dalam Gambar 4.15 Tabel 4.2 (a), Tabel 4.3 (a).Tabel 4.2 (b) dan Tabel 4.3 (b). Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat kecuali Situ Cibuntu, pada empat situ lainnya, Pb dalam biomasa fitoplankton yang hidup di kedalaman *Secchi* cenderung lebih tinggi (dua kali lebih besar) dibandingkan dalam fitoplankton yang hidup di permukaan. Hal ini disebabkan oleh karena pada air permukaan empat situ tersebut kelimpahan total individu fitoplankton (terkait erat dengan biomasanya) jauh lebih besar (dua kali lipat ) dibandingkan kelimpahan total individu fitoplankton pada kedalaman *Secchi*-nya. Fakta ini menyebabkan pada saat dilakukan perhitungan bioakumulasi yang berbasis pada bobot kering biomasa fitoplankton menghasilkan nilai bioakumulasi yang lebih kecil.

Situ Cibuntu adalah satu-satunya situ yang dalam dua kali pengambilan contoh berturut-turut menunjukkan kelimpahan fitoplankton yang lebih besar pada kedalaman *Secchi*-nya sehingga pola teramati yang terjadi justru menjadi sebaliknya dari empat situ lainnya dalam hal bioakumulasi Pb (Gambar 4.15, Tabel 4.2 (b) dan Tabel 4.3 (b)). Tampaknya, keunikan Situ Cibuntu ini disebabkan oleh karakteristiknya sebagai situ yang teramat dangkal dan paling kecil luas permukaannya (Tabel 3.3) sehingga karena kompartemen air yang tipis ini menyebabkan fitoplankton jenis *Melosira granulata* (pada dua kali pengamatan mendominasi situ ini) pada saat pengambilan contoh dilakukan ( pada jam 17.20) tampaknya lebih menyukai untuk terkonsentrasi di bagian kedalaman *Secchi*.

Sebagaimana yang tersaji dalam Gambar 4.15 , terlihat bahwa fitoplankton yang hidup di permukaan dan kedalaman *Secchi* Situ Rawa Kalong memiliki kemampuan membioakumulasi Pb tertinggi diantara empat permukaan situ lainnya. Urutan kemampuan fitoplankton yang hidup di permukaan perairan situ dalam membioakumulasi Pb adalah

sebagai berikut: Situ Rawa Kalong >Situ Lido = Situ Tonjong > Situ Cibuntu =Situ Cikaret, sedangkan untuk kedalaman *Secchi* urutannya adalah sebagai berikut Situ Rawa Kalong > Situ Tonjong> Situ Lido>SituCikaret dan Situ Cibuntu. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini 0,5 sampai lima kali lebih besar bila dibandingkan dengan data yang dilaporkan oleh Chen *et al.* (2000) dimana Pb dalam plankton yang disaring dengan plankton net berukuran 45-202  $\mu\text{m}$  dari 20 danau di Amerika Utara berkisar antara 0,727 sampai 57  $\mu\text{gPb/g}$  bobot kering.

Nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF) dan *Accumulation Factor* ( $A_{s-w}$ ) pada lima situ yang diamati seperti pada Tabel 4.4 mengindikasikan bahwa Pb cenderung untuk lebih teradsorpsi oleh komunitas fitoplankton. Hal tersebut terbukti dari lebih besarnya nilai BAF dibandingkan  $A_{s-w}$ . Fitoplankton di Situ Rawa Kalong memiliki kemampuan terbaik dalam membioakumulasi Pb karena dapat mencapai tiga kali lebih besar dibandingkan rerata tiga situ lainnya yang diamati. Situ Tonjong juga memiliki komunitas fitoplankton yang cukup dalam membioakumulasi Pb meskipun hanya separuh dari kemampuan fitoplankton yang hidup di Situ Rawa Kalong. Sementara itu, komunitas fitoplankton di Situ Cikaret dan Situ Lido memiliki kemampuan bioakumulasi Pb yang hampir setara. Komunitas fitoplankton yang hidup di Situ Cibuntu rupanya memiliki kemampuan bioakumulasi Pb paling rendah .

Pb dari nilai  $A_{s-w}$  di Situ Rawa Kalong lebih cenderung untuk terakumulasi empat kali lebih besar dalam sedimen bila dibandingkan Situ Tonjong dan Situ Cibuntu. Bahkan lebih besar tujuh kali dan Sembilan kali bila dibandingkan dengan Situ Lido dan Situ Cikaret Cibuntu (pada Tabel 4.4). Tampaknya hal ini seperti yang telah dijelaskan dalam sub bab 4.10 sebelumnya, disebabkan oleh adanya faktor *input* potensial Pb yang lebih besar dijumpai di Situ Rawa Kalong dibandingkan empat situ lainnya. Secara keseluruhan kisaran nilai  $A_{s-w}$  untuk Pb pada lima situ masih jauh dibawah nilai  $A_{s-w}$  yang dijumpai pada sungai Sekonyer dan Sungai

Buluh Besar di Taman Nasional Tanjung Puting yang masing-masing mencapai 1169 dan 96,8 (Awalina and Hartoto, 2001).

Tabel 4.4. Rerata nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF) pada komunitas plankton dan *Accumulation Factor* ( $A_{s-w}$ ) logam Pb pada lima situ di perairan Bogor

Perairan	BAF	$A_{s-w}$
Situ Lido	16.972	5.165
Situ Tonjong	24.783	10.633
Situ Cibuntu	11.050	10.017
Situ Cikaret	17.119	6.747
Situ Rawa Kalong	50.381	47.081
BAF = $Pb_{fito} / TPb_{air}$		
$A_{s-w} = Pb_{sed} / TPb_{air}$		

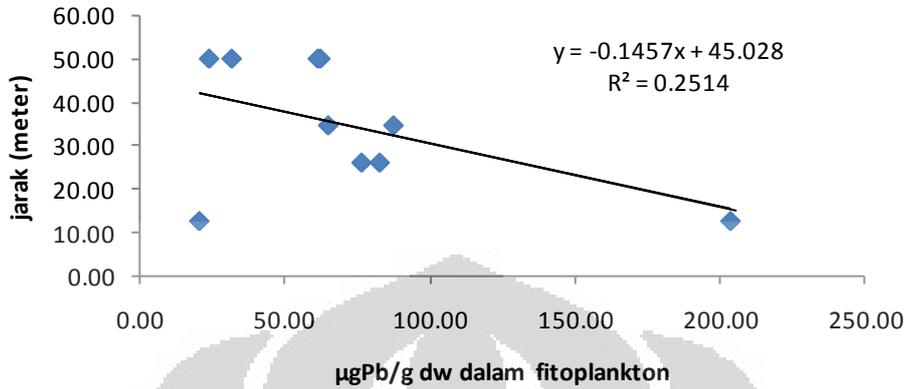
Keterkaitan pola bioakumulasi Pb terhadap jarak rerata berbagai sumber pencemar (*Sources = S*) nya dapat dilihat pada Gambar 4.16 (a) sampai 4.16 (c). Jarak rerata tersebut ditujukan terhadap tiga sub bagian S yaitu yaitu PS *Point Sources* (PS), *Non Point Sources* (NPS) dan *Total Point Sources* (TPS). Nilai  $R^2$  yang menunjukkan tingkat kelinieran hubungan bioakumulasi Pb dalam fitoplankton terhadap masing-masing sub bagian S pada penelitian ini berkisar 0,0047- 0,2514., menunjukkan suatu tingkat korelasi yang tidak nyata (*not significant*). Hasil ini mengindikasikan hubungan keduanya yang bersifat tunggal (*single variable*) tidaklah

terlalu kuat. Meskipun demikian, hasil yang telah diperoleh telah menunjukkan adanya kecenderungan bioakumulasi Pb oleh komunitas fitoplankton yang hidup pada permukaan lima situ memiliki korelasi terhadap PS (Gambar 4.16(a)).

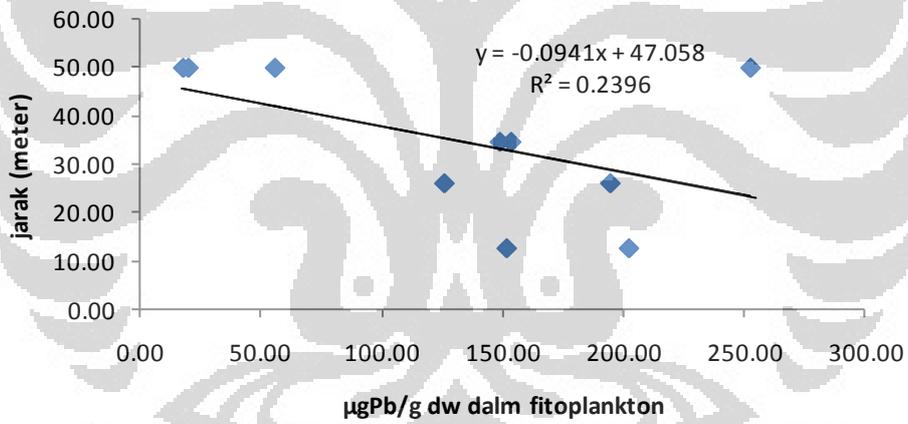
Di sisi lain NPS lebih mempengaruhi bioakumulasi Pb oleh fitoplankton yang hidup di bagian kedalaman *Secchi* ( $z_{SD}$ ) sedangkan TPS sedikit lebih berkorelasi dengan bioakumulasi Pb oleh fitoplankton yang hidup di  $z_{SD}$ . Secara umum urutan korelasi berdasarkan nilai  $R^2$  yang diperoleh adalah sebagai berikut PS>TPS>NPS.



### Bioakumulasi Pb di permukaan terhadap jarak Point Sources

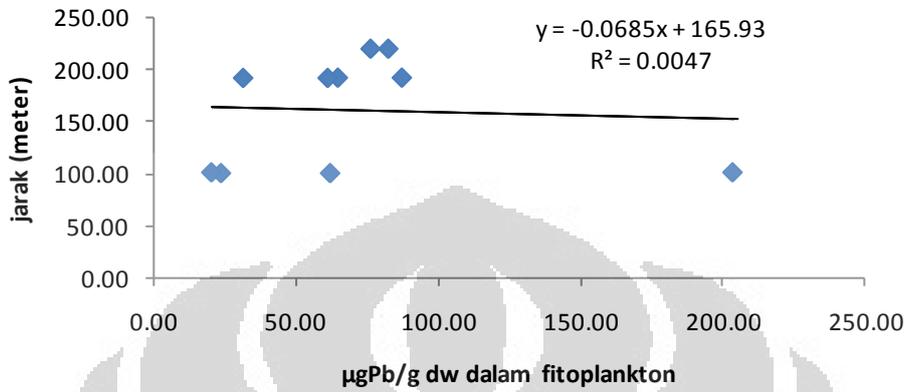


### Bioakumulasi Pb pada Z<sub>SD</sub> terhadap jarak Point Sources

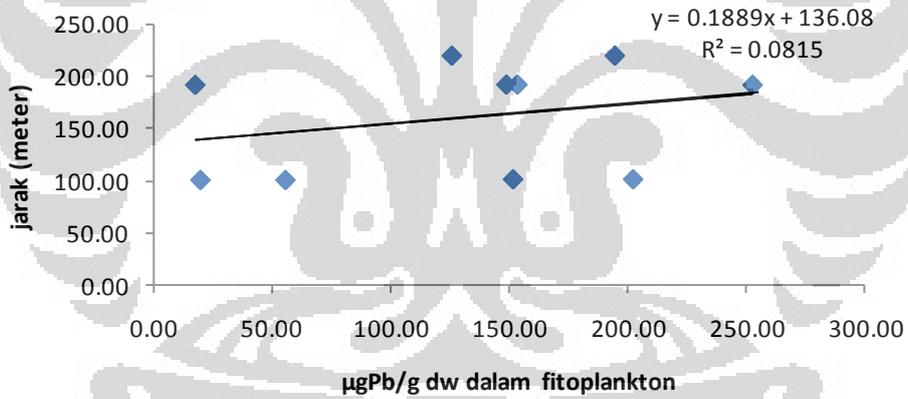


Gambar 4.16 (a). Hubungan bioakumulasi Pb terhadap rerata jarak *Point Sources* (PS)

### Bioakumulasi Pb di permukaan terhadap jarak Non Point Sources

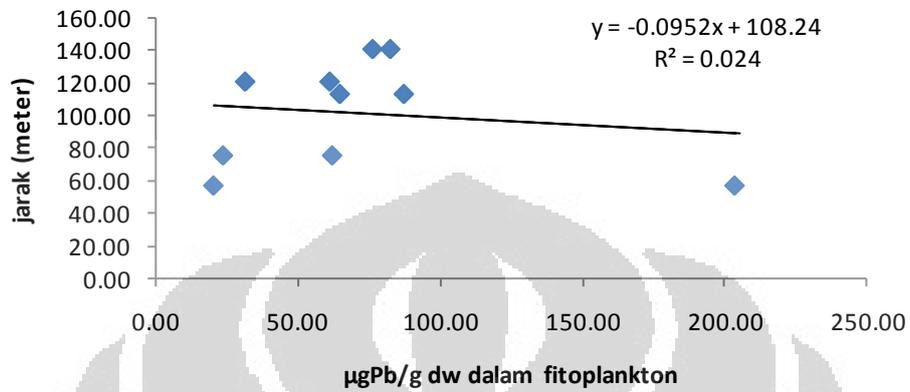


### Bioakumulasi Pb pada Z<sub>SD</sub> terhadap jarak Non Point Sources

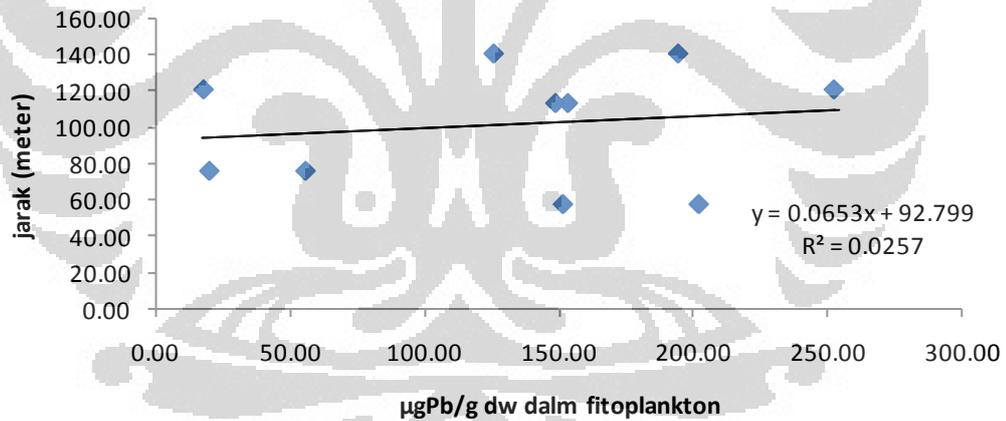


Gambar 4.16 (b). Hubungan bioakumulasi Pb terhadap rerata jarak Non Point Sources (NPS)

### Bioakumulasi Pb di permukaan terhadap jarak total point sources



### Bioakumulasi Pb pada Z<sub>SD</sub> terhadap jarak Total Point Sources



Gambar 4.16 (c). Hubungan bioakumulasi Pb terhadap rerata jarak Total Point Sources (TPS)

**Cd dalam biomasa fitoplankton** sebagaimana dalam Gambar 4.17., terlihat bahwa Cd dalam fitoplankton yang hidup pada lima perairan situ menunjukkan kecenderungan lebih tinggi pada pengambilan contoh periode kedua dibandingkan yang pertama. Kisaran kemampuan bioakumulasi Cd dalam fitoplankton yang hidup di permukaan sama dengan fitoplankton yang hidup di kedalaman *Secchi*. Urutan kemampuan bioakumulasi Cd dalam fitoplankton adalah sebagai berikut Situ Rawa Kalong>Situ Cikaret>Situ Lido>Situ Tonjong>Situ Cibuntu.

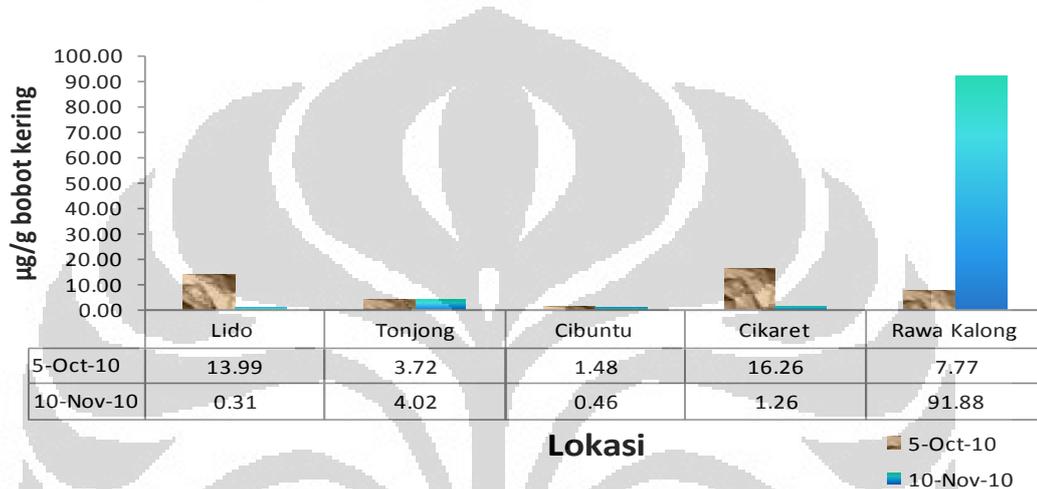
Tampaknya komunitas fitoplankton yang hidup di perairan Situ Rawa Kalong sudah memiliki kemampuan beradaptasi untuk mengikat Cd dalam biomasanya. Hal ini terbukti dengan lebih melimpahnya fitoplankton dari filum Cyanophyta dibandingkan Chlorophyta. Kemampuan suksesi dari jenis fitoplankton juga ditentukan oleh kemampuan beradaptasi terhadap *input* Cd yang masuk dalam media hidupnya.

Data bioakumulasi yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 0,03 sampai 8,2 kali lebih besar bila dibandingkan dengan data yang dilaporkan oleh Chen *et al.* (2000) dimana Pb dalam plankton yang disaring dengan *plankton net* berukuran 45-202  $\mu\text{m}$  dari 20 danau di Amerika Utara berkisar antara tidak terdeteksi sampai 11.3  $\mu\text{gCd/g}$  bobot kering. Tampaknya fitoplankton yang hidup pada lima situ yang diamati terutama di Situ Rawa Kalong memiliki kemampuan yang sangat baik untuk membioakumulasi Pb dan Cd dalam biomasanya.

Bioakumulasi Cd oleh komunitas fitoplankton yang hidup di lima situ sekitar Bogor tampaknya cenderung lebih besar bila dibandingkan terhadap Pb sebagaimana yang tersaji pada kisaran BAF pada Tabel 4.5. Teramati adanya perbedaan dengan Pb dalam hal kedua faktor akumulasi yaitu nilai kisaran  $A_{s-w}$  lebih besar dibandingkan kisaran BAF. Jadi logam Cd cenderung lebih terakumulasi di kompartemen sedimen dasar dari pada terbioakumulasi oleh komunitas fitoplankton yang hidup di lima

perairan situ tersebut. Nilai  $A_{s-w}$  pada Situ Rawa Kalong jauh lebih besar dibandingkan dengan perairan situ lainnya yaitu mencapai 20, 8 kali lebih besar dibandingkan Situ Cikaret dan bahkan 23,4 kali lebih besar dibandingkan tiga situ lainnya.

### Cd fitoplankton di permukaan perairan situ



### Cd fitoplankton di kedalaman Secchi ( $z_{SD}$ ) perairan situ



Gambar 4.17. Cd dalam fitoplankton pada lima situ yang diamati menurut kedalaman

Masih pada Tabel 4.5, meskipun karakteristik akumulasi Cd ini terbalik dengan akumulasi logam Pb, tetapi tetap saja dalam hal mengikat Cd, komunitas fitoplankton Situ Rawa Kalong menyebabkan nilai BAF tertinggi

bila dibandingkan empat situ lainnya. Secara umum, komunitas fitoplankton yang hidup di Situ Rawa Kalong sanggup untuk membioakumulasi Cd dua sampai delapan kali lebih besar dibandingkan fitoplankton yang hidup di empat situ lainnya. Sementara itu yang menarik, komunitas fitoplankton dalam Cikaret ternyata mampu membioakumulasi Cd sebanyak 11,3 kali lebih besar dibandingkan kemampuannya dalam membioakumulasi Pb. Fitoplankton pada tiga situ lainnya yaitu Situ Lido, Situ Tonjong dan Situ Cibuntu hanya mampu mengakumulasi Cd dua kali lebih besar dibandingkan dengan Pb. Fitoplankton yang hidup di Situ Rawa Kalong dalam hal membioakumulasi Cd menunjukkan kemampuannya empat kali lebih besar dibandingkan kemampuannya dalam membioakumulasi Pb (Tabel 4.4 dan Tabel 4.5).

Tabel 4.5. Rerata nilai *Bioaccumulation Factor* (BAF) dan *Accumulation Factor* ( $A_{s-w}$ ) logam Cd pada lima situ di perairan Bogor

Perairan	BAF	$A_{s-w}$
Situ Lido	31.538	15.945
Situ Tonjong	53.888	12.777
Situ Cibuntu	27.535	12.590
Situ Cikaret	192.309	17.931
Situ Rawa Kalong	228.668	374.983
BAF = $Pb_{fito} / TPb_{air}$		
$A_{s-w} = Pb_{sed} / TPb_{air}$		

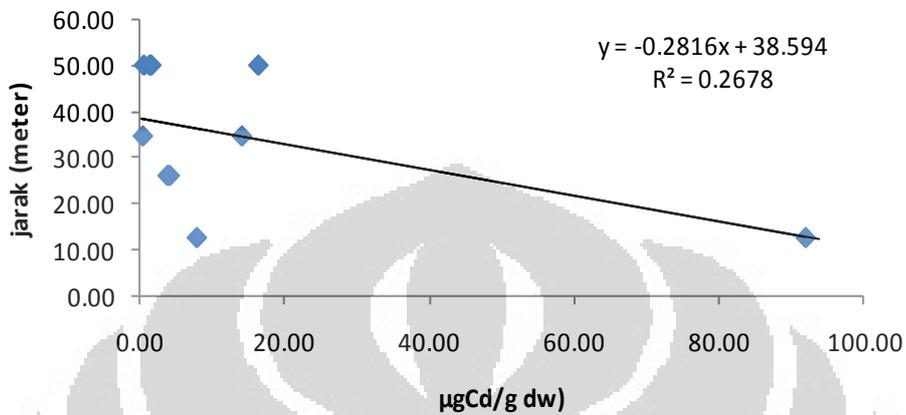
Hasil analisis korelasi (Gambar 4.18 (a) sampai Gambar 4.18 (c)) masing-masing antara PS, NPS dan TPS terhadap bioakumulasi Cd dalam fitoplankton memiliki pola yang sama dengan yang telah dibahas terkait bioakumulasi Pb yaitu dengan urutan korelasi sebagai berikut bahwa bioakumulasi Cd secara umum terkait PS, NPS dan TPS adalah sebagai

berikut: PS >TPS>NPS tetapi kisaran nilai  $R^2$  pada bioakumulasi Cd oleh komunitas fitoplankton ini relatif sedikit lebih besar dibandingkan dengan Pb.

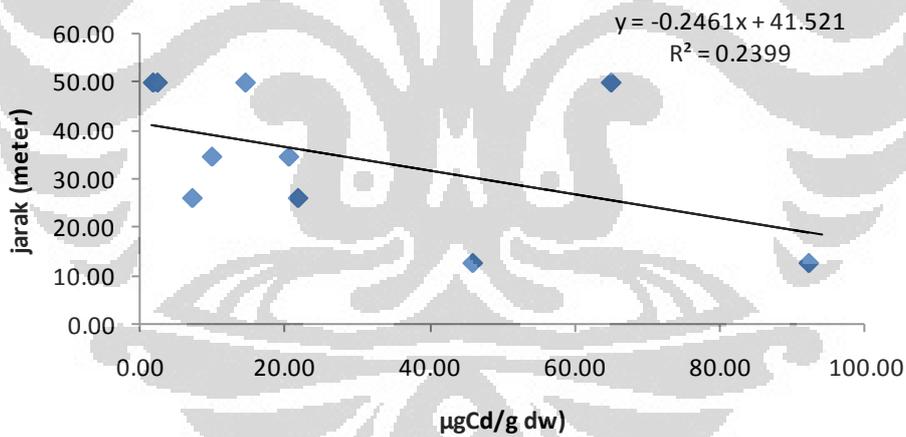
Jarak terhadap PS sedikit lebih berkorelasi terhadap bioakumulasi Cd di permukaan dibandingkan pada kedalaman *Secchi* (Gambar 4.18a), sedangkan jarak terhadap NPS juga sedikit lebih berkorelasi dengan bioakumulasi Cd di permukaan dibandingkan  $z_{SD}$  (Gambar 4.18(b)). Jarak TPS juga lebih sedikit berkorelasi terhadap bioakumulasi Cd di permukaan. Jarak TPS terhadap bioakumulasi Cd di dua strata pengambilan contoh juga lebih tinggi nilai  $R^2$  nya dibandingkan hal yang sama terhadap Pb.

Hasil sub bab ini mengindikasikan bahwa untuk mengungkapkan pola hubungan bioakumulasi komunitas fitoplankton pada lima perairan situ kurang begitu memuaskan bila didekati dengan hanya mengkorelasikan variabel secara tunggal parameter yang dihadapi oleh sebab itu tampaknya aplikasi *Principal Component Analysis* (PCA) sangat cocok untuk digunakan dalam upaya mengungkapkan hubungan secara simultan untuk beberapa variabel.

### Bioakumulasi Cd permukaan terhadap jarak Point Sources

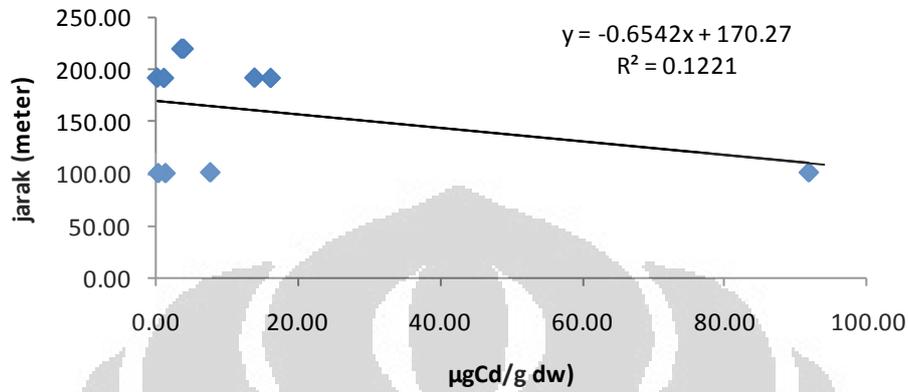


### Bioakumulasi Cd pada $Z_{SD}$ terhadap jarak Point Sources

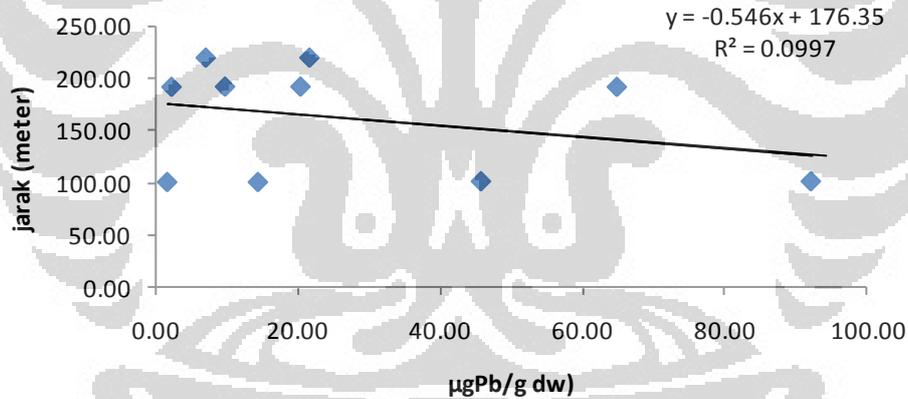


Gambar 4.18 (a). Hubungan bioakumulasi Cd terhadap jarak rerata Point Sources (PS)

### Bioakumulasi Cd di permukaan terhadap Non Point Sources



### Bioakumulasi Cd pada Z<sub>SD</sub> terhadap jarak Non Point Sources



Gambar 4.18 (b). Hubungan bioakumulasi Cd terhadap jarak rerata *Non Point Sources* (NPS)

#### 4.13. Pola keterkaitan bioakumulasi Pb dan Cd dalam biomasa fitoplankton terhadap faktor kimia dan fisika perairan

Hasil analisis pola keterkaitan bioakumulasi Pb dan Cd dalam fitoplankton dengan menggunakan metoda ordinasii yaitu *Principal Component*

*Analysis* (PCA) yang diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Multi Variate Statistical Package* (MVSP) versi 3.1 tersaji dalam Gambar 4.19. dan 4.20.

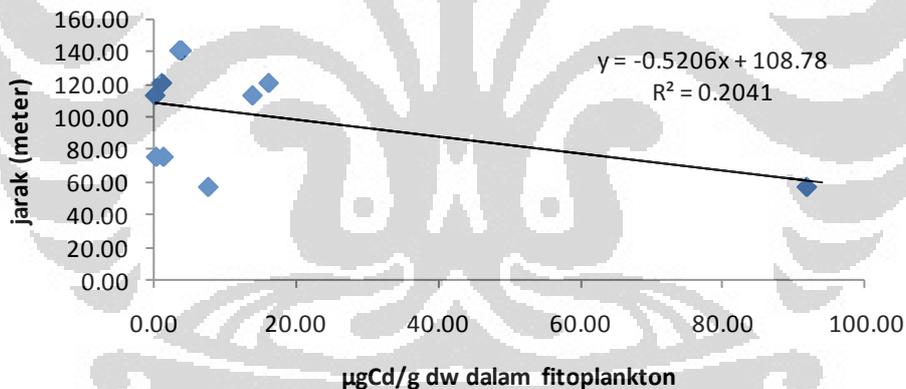
### **Bioakumulasi Pb dan faktor yang mempengaruhinya**

Bioakumulasi Pb di permukaan Situ Cikaret menurut Gambar 4.19 (a) dipengaruhi secara bersamaan oleh kedalaman *Secchi*, kedalaman maksimum dan kesadahan total. Sementara itu, permukaan Situ Lido hanya menampilkan hubungan antara total kesadahan yang ditentukan oleh kedalaman maksimum dan kedalaman *Secchi*. Hal ini mengindikasikan bahwa bioakumulasi Pb oleh fitoplankton yang hidup di kedua perairan situ ini sangat tergantung pada kondisi habitatnya yaitu strata pengambilan contoh (kedalaman *Secchi* dan kedalaman maksimum) serta kondisi perairan yang mendukung terjadinya dissolusi Pb di perairan sehingga memungkinkan untuk terjadinya *uptake* Pb oleh komunitas fitoplankton. Sebagaimana yang dijelaskan pada Gambar 4.1 bahwa proses *uptake* dari *input* Pb (baik dari aliran masuk maupun deposisi atmosferik) adalah merupakan proses yang melibatkan spesies Pb terlarut (yaitu  $MeL$ , Pb yang diikat oleh ligan) yang kemudian di adsorpsi oleh material biologis, oksida, karbonat, mineral *clay* atau di *uptake* oleh fitoplankton. Pengikatan oleh material tadi mendorong terjadinya proses agregasi senyawa yang mengikat Pb tersebut lalu mengendapkannya ke bagian dasar situ.

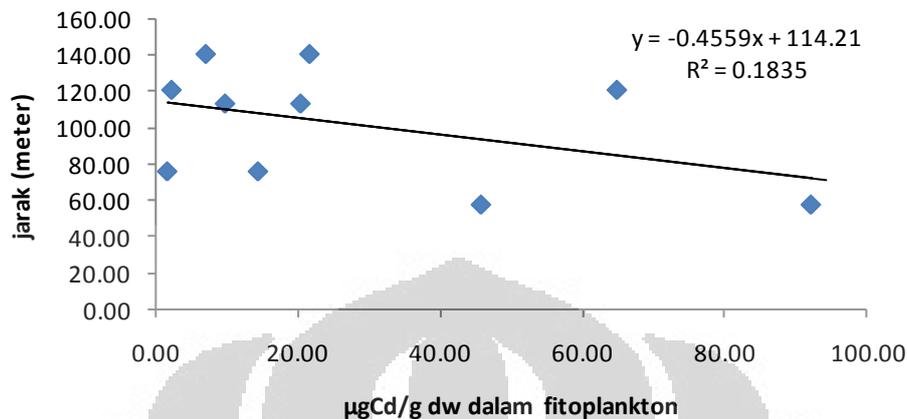
Biplot Gambar 4.19 (a) juga mengungkapkan hubungan antara *input* Pb pada permukaan Situ Cikaret dari aliran masuk (merujuk pula pada Gambar 4.1.) , yaitu bahwa kandungan total Pb di air juga sangat terkait erat dengan jarak terhadap tiga kategori sumber pencemar yaitu PS, NPS dan TPS sekaligus, sedangkan di permukaan Situ Tonjong, *input* Pb yang terikat pada partikulat hanya sangat ditentukan oleh jarak terhadap PS. Fakta seperti tampaknya disebabkan oleh karakteristik logam Pb sebagai

logam yang keberadaannya di lingkungan akuatik sebagian besar berasal dari kegiatan antropogenik. Sementara itu, air permukaan Situ Rawa Kalong menunjukkan korelasi yang sangat erat tapi bernilai negatif yaitu antara turbiditas dan banyaknya klorofil-a, demikian juga Pb dalam sedimen terkait erat dengan pH. Jadi untuk kolom air permukaan hanya pada Situ Cikaret saja yang menunjukkan adanya pola hubungan antara bioakumulasi Pb terhadap beberapa faktor kimia dan fisika perairan. Tampaknya hal ini disebabkan oleh fakta bahwa kandungan total Pb yang tertinggi teramati pada permukaan Situ Cikaret dibandingkan dengan empat situ lainnya.

### Bioakumulasi Cd permukaan terhadap total jarak Point Sources



## Bioakumulasi Cd pada $Z_{SD}$ terhadap total jarak Non Point Sources



Gambar 4.18 (c). Hubungan bioakumulasi Cd terhadap jarak rerata berbagai sumber pencemar (*Total Point Sources* =TPS)

Strata kedalaman *Secchi* pada Situ Rawa Kalong menunjukkan adanya hubungan yang tidak terlalu kuat antara bioakumulasi Pb (Gambar 4.19 (b) terhadap kandungan klorofil-a dan Pb yang terkandung dalam sedimen. Hal ini kemungkinan disebabkan karena Pb pada situ ini lebih cenderung terbioakumulasi oleh biomassa fitoplankton dibandingkan tersedimentasikan dalam kompartemen sedimen (lihat Tabel 4.4). Gambar 4.19 (b) juga menunjukkan bahwa pada kedalaman *Secchi*, di Situ Cikaret dan Situ Lido tampak ada hubungan yang erat antara total Pb di air dengan kesadahan total. Tinggi rendahnya nilai kesadahan total menurut Weiner (2008) berpengaruh terhadap tinggi rendahnya logam terlarut dalam suatu perairan. Pada kedua perairan situ ini, terlihat pola keterkaitan antara total Pb dan kesadahan total yang paling jelas dibandingkan tiga situ lainnya hal ini dikarenakan pada Situ Lido dan Situ Cikaret kuantitas total Pb dan kesadahan total nya lebih tinggi dibandingkan tiga situ lainnya (Gambar 4.4 dan Gambar 4.5).

Gambar 4. 19 (c ) menunjukkan bahwa bioakumulasi Pb itu Lido tampaknya sangat dipengaruhi oleh kedalaman *Secchi*, total Pb di air,

kedalaman maksimum dan total kesadahan. Hal ini tampaknya disebabkan oleh fakta bahwa bioakumulasi Pb dan juga kesadahan total untuk kedalaman *Secchi* di Situ Lido adalah yang tertinggi dibandingkan empat situ lainnya yang diamati (Gambar 4.4 dan Gambar 4.5). Sebagaimana yang dikemukakan oleh Bellinger and Sigeo (2010) dan Wetzel (2001) bahwa kelimpahan dan jenis fitoplankton (sebagai *agent* pengikat Pb dan Cd) sangat dipengaruhi oleh strata kedalaman perairan karena terkait dengan aktifitas fotosintesis yang dilakukan oleh biota ini. Sedangkan kesadahan total terkait dengan ketersediaan Pb terlarut dalam perairan situ sehingga memungkinkan terjadinya *uptake* Pb oleh biomassa fitoplankton yang hidup di dalamnya.

*Input* Pb di perairan Situ Cikaret diduga berasal dari deposisi atmosferik karena ternyata pada kedalaman maksimum Situ Cikaret Pb partikulat ditentukan oleh *pollutant source* jenis NPS dan TPS (Gambar 4.19 (c)). Korelasi negatif terjadi pada hubungan antara klorofil-a, turbiditas, kuantitas Pb dalam sedimen dan pH di Situ Rawa Kalong pada kedalaman maksimumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa dinamika Pb di perairan Situ Rawa Kalong sangat dipengaruhi oleh deposit Pb yang tersimpan dalam sedimennya, dalam hal ini pH adalah faktor pengendali yang terpenting dalam proses sorpsi dan desorpsi Pb dari kompartemen sedimen ke perairan. Klorofil-a dalam hal ini merupakan representasi dari kuantitas biomassa komunitas fitoplankton sedangkan turbiditas menunjukkan batasan untuk kemungkinan terjadinya penetrasi cahaya yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis.

### **Bioakumulasi Cd dan faktor yang mempengaruhinya**

Diantara lima perairan situ yang diamati, terkait bioakumulasi Cd, hanya pada permukaan Situ Cikaret yang jelas terlihat adanya korelasi erat antara bioakumulasi Cd dengan faktor kimia fisika dan perairan, dalam hal ini Cd terlarut, NPS dan TPS (Gambar 4.20 a). Hal ini mengindikasikan

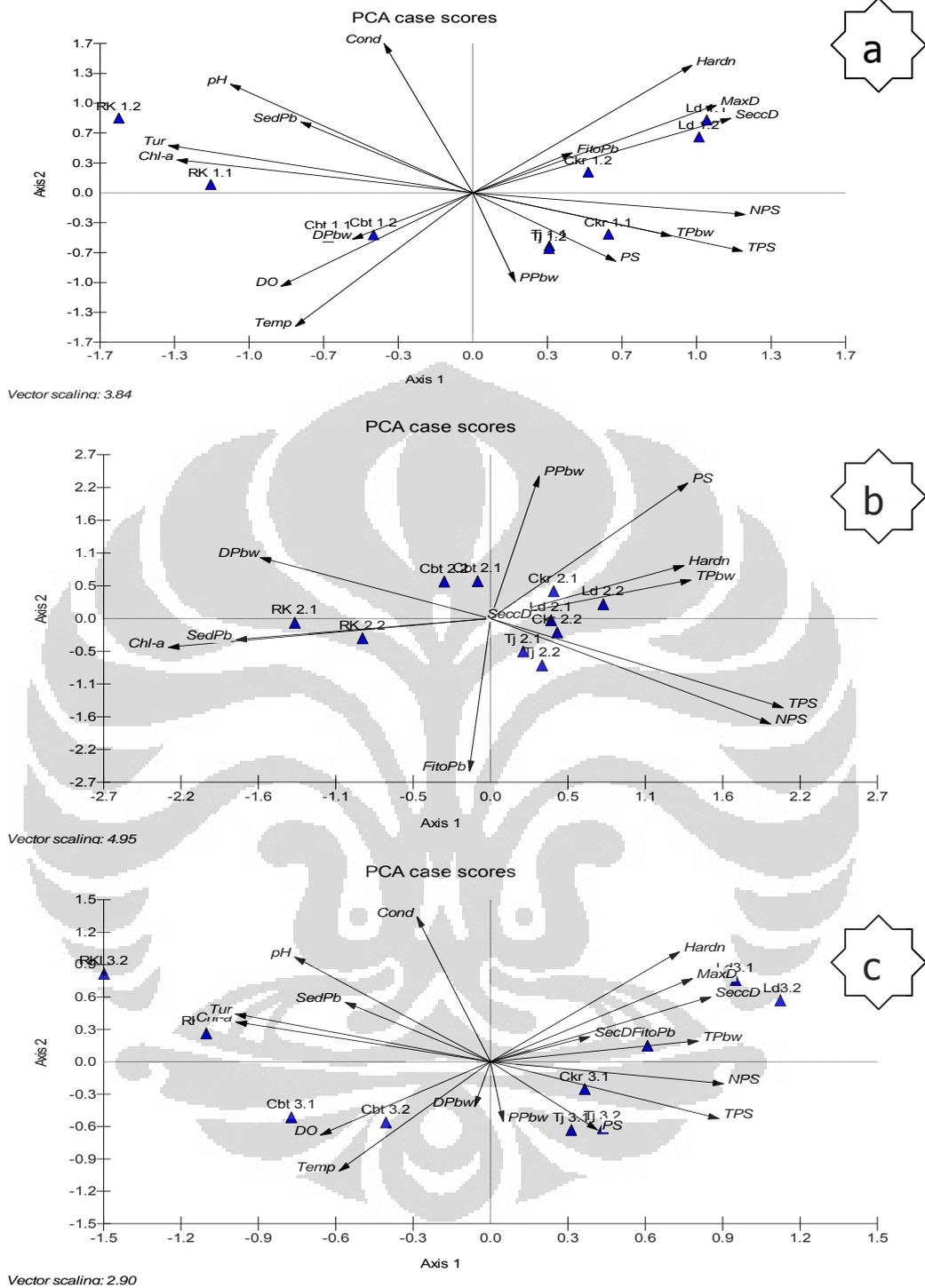
bahwa pada perairan situ ini ketersediaan Cd terlarut yang berasal dari jenis NPS adalah faktor penting dalam proses bioakumulasi Cd oleh fitoplankton yang hidup di dalamnya. Bellinger and Sigee (2010), Weiner (2008), Stumm and Morgan (1996), Buffle and DeVitre (1993) menjelaskan bahwa proses *uptake* logam runtu diperairan sangat ditentukan oleh ketersediaan logam runtu tersebut dalam bentuk terlarutnya karena memungkinkan terjadinya proses pengikatan oleh ligan yang diproduksi oleh fitoplankton atupun melalui proses sorpsi terhadap logam runtu terlarut oleh ligan pada sisi aktif dipermukaan membran sel fitoplankton. Proses ini merupakan proses kesetimbangan yang interdependen melibatkan konsentrasi ligan bebas, konsentrasi logam runtu terlarut, kompetisi terhadap sisi aktif, afinitas logam runtu terhadap ligan dan sebagainya. Pada permukaan Situ Lido mungkin karena nilai  $Z_{max}$  dan  $Z_{SD}$  nya yang paling besar besar dibandingkan empat situ lainnya, hanya teramati hubungan signifikan antara partikulat Cd dan total Cd terhadap total kesadahan dan strata kedalaman pengambilan contoh yang mengindikasikan bahwa bentuk Cd di perairan situ ini dikendalikan oleh total kesadahan dan strata kedalaman perairan. Pada permukaan tiga perairan situ lainnya tidak menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara bioakumulasi Cd dengan faktor kimia dan fisika perairan.

Bioakumulasi Cd pada kedalaman *Secchi* Rawa Kalong (Gambar 4.20 (b)). sangat erat berkorelasi dengan Cd partikulat, Cd terlarut, Cd dalam sedimen . Fakta ini mengindikasikan bahwa *uptake* Cd oleh fitoplankton yang hidup di strata kedalaman Rawa Kalong sangat tergantung pada dinamika perubahan spesiasi Cd, proses sorpsi-desorpsi, deposisi dan pelepasan logam ini dari kompartemen sedimen perairan ini. Fenomena seperti ini dapat dijelaskan seperti pada pendekatan yang tergambar secara skematik seperti pada Gambar 4.1. Perubahan dinamis spesiasi Cd (total, partikulat dan terlarut) berperan dalam mobilitas dan karakteristik logam Cd di perairan dan hal ini terkait erat pula terhadap potensi logam

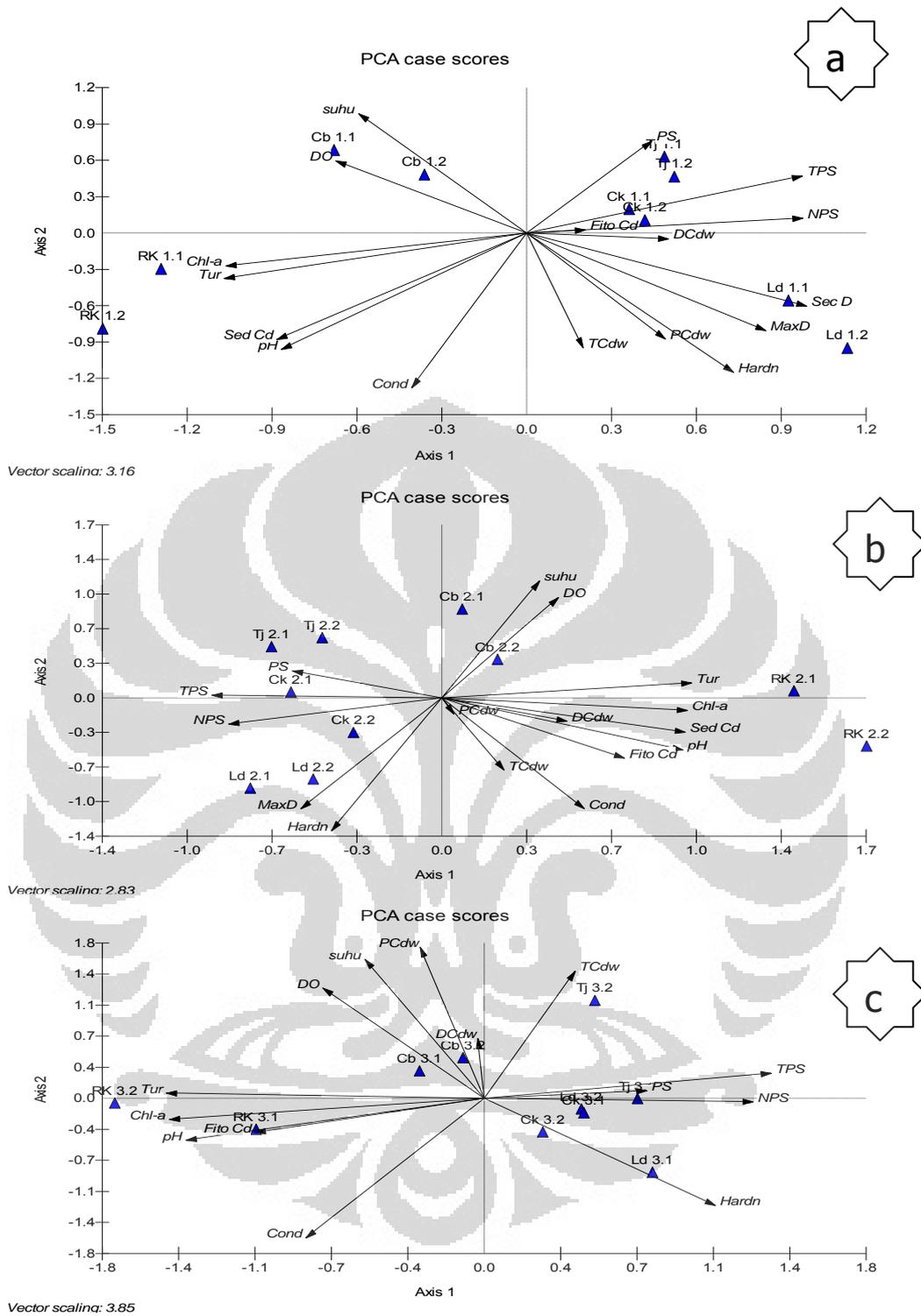
ini untuk diikat oleh ligan yang di keluarkan oleh fitoplankton maupun yang berada pada sisi aktif permukaan membran sel nya. Kuantitas partikel terlarut dapat juga menyebabkan terjadinya kompetisi pada proses sorpsi dan desorpsi antara fitoplankton dan partikel terlarut di perairan (Weiner, 2008 ; Stumm and Morgan 1996 ; Buffle and DeVitre , 1994).

Bioakumulasi Cd pada kedalaman *Secchi* Situ Rawa Kalong berkorelasi negatif cukup kuat dengan pH, klorofil-a dan turbiditas (Gambar 4.20 (b)). Fakta ini mengindikasikan bahwa pH adalah faktor pengendali dalam proses kelarutan logam Cd di perairan situ, yaitu bahwa dengan kenaikan pH akan menurunkan kelarutan Cd akibat terbentuknya senyawa Cd hidroksida yang mudah mengendap ke sedimen dasar. Klorofil-a yang tinggi adalah indikasi adanya kelimpahan biomassa fitoplankton yang besar dan menyebabkan turbiditas yang tinggi pula. Kuantitas yang besar dari kedua parameter ini jelas menyebabkan kompetisi terhadap proses sorpsi terhadap logam Cd terlarut sehingga mengakibatkan korelasi yang bersifat negatif. Fenomena seperti ini lazim ditemui dalam perairan danau (Buffle and DeVitre, 1994). Empat perairan situ lainnya pada strata kedalaman *Secchi* tidak menunjukkan korelasi yang signifikan antara bioakumulasi Cd terhadap parameter kimia dan fisika perairan. Korelasi signifikan yang teramati hanya tampak pada total kesadahan terhadap strata kedalaman (Situ Lido dan Situ Cikaret), antara DO dan suhu (Situ Cibuntu) dan antar jenis sumber pencemar (pada Situ Tonjong). Hasil ini menunjukkan bahwa karakteristik perairan situ dangkal yang berukuran kecil seperti Situ Cibuntu terlihat jelas sebagai perairan yang sensitif terhadap perubahan suhu perairan. Sebaliknya untuk perairan situ dengan nilai  $Z_{maksimum}$  yang besar (seperti Situ Lido dan Situ Cikaret) strata kedalaman berpengaruh terhadap nilai kesadahan totalnya (Gambar 4.20 (b)).

Kedalaman maksimum pada Situ Rawa Kalong menunjukkan korelasi signifikan yang bersifat negatif antara bioakumulasi Cd, nilai pH, klorofil-a dan turbiditas (Gambar 4.20 (c)). Tampaknya kuantitas nilai pH sangat menentukan dalam hal ketersediaan Cd terlarut dalam perairan yang mencukupi sehingga memungkinkan terjadinya *uptake* oleh fitoplankton. Akan tetapi bila kuantitas dari klorofil-a (representasi kelimpahan fitoplankton) dan turbiditas (representasi zat organik terlarut, oksida, karbonat, dan material anorganik partikulat terlarut lainnya) juga besar maka akan mengakibatkan kompetisi terhadap proses sorpsi Cd terlarut di perairan sehingga menurunkan kuantitas Cd yang ter *uptake* oleh fitoplankton. Pola hubungan seperti ini merupakan karakteristik perairan danau seperti yang di ungkapkan oleh Buffle and DeVitre (1994) bahwa pada umumnya pH adalah faktor pengendali dalam proses kelarutan logam runtu di perairan tergenang (danau). Empat perairan situ lainnya tidak menunjukkan korelasi signifikan antara bioakumulasi Cd terhadap faktor kimia dan fisika perairan. Pada kedalaman maksimum empat perairan situ lainnya yang diamati ternyata pola hubungan seperti ini tidak jelas terlihat. Tampaknya hal ini disebabkan oleh jauh lebih besarnya kuantitas Cd yang terbioakumulasikan dalam fitoplankton yang hidup di Situ Rawa Kalong dibandingkan terhadap Cd dalam fitoplankton yang hidup di empat perairan situ yang diamati.



Gambar 4.19 Hasil analisis PCA keterkaitan Pb dengan faktor kimia fisika perairan dimana a= permukaan ; b= kedalaman *Secchi*; c= kedalaman maksimum



Gambar 4.20. Hasil analisis PCA keterkaitan Cd dengan faktor kimia fisika perairan dimana a= permukaan ; b= kedalaman *Secchi*; c= kedalaman maksimum

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Level bioakumulasi Pb dan Cd dalam komunitas fitoplankton ternyata tidak selalu meningkat hanya dengan semakin dekatnya lokasi perairan situ terhadap *point sources* dan *non point sources* kedua bahan pencemar tersebut. Kuantitas Pb dan Cd dalam komunitas fitoplankton pada Situ Cikaret, Situ Tonjong, Situ Rawa Kalong dan Situ Lido sangat berkorelasi positif dengan strata kedalaman perairan (permukaan, kedalaman *Secchi* dan kedalaman maksimum), kesadahan total, dan spesiasi kedua logam tersebut (kandungan total, partikulat dan terlarut). Total Cd dalam sedimen sangat berkorelasi positif dengan bioakumulasi logam ini terutama di Situ Rawa Kalong, sedangkan sebaliknya terjadi pada Total Pb. Hanya bioakumulasi Cd dalam fitoplankton yang hidup di Situ Cibuntu saja yang berkorelasi negatif dengan suhu. Bioakumulasi Cd dalam fitoplankton dalam Situ Rawa Kalong juga berkorelasi negatif dengan pH, klorofil-a dan turbiditas.

Korelasi negatif antara kuantitas Pb dalam sedimen terhadap parameter turbiditas, pH, konduktifitas dan klorofil-a tampak sangat jelas terjadi di Situ Rawa Kalong dan justru terjadi sebaliknya dalam hal Cd dalam sedimen. Pb dan Cd paling banyak terdeposisi dalam kompartemen sedimen Situ Rawa Kalong.

Secara umum parameter kimia dan fisika perairan (pH, konduktifitas, DO, turbiditas dan suhu) pada lima perairan situ yang diamati masih pada taraf yang mendukung kehidupan biota akuatik. Lima perairan situ ini jika ditinjau dari aspek kesadahan totalnya, termasuk sebagai "*soft waters*" yang cukup potensial untuk mempermudah terjadinya proses bioakumulasi Pb dan Cd oleh fitoplanktonnya. Pada lima perairan situ yang diobservasi, baik Pb maupun Cd cenderung lebih banyak terbioakumulasi di dalam

komunitas fitoplankton dibandingkan terdeposisi pada kompartemen sedimennya. Kemampuan fitoplankton yang hidup di Situ Rawa Kalong dalam membioakumulasi Pb dan Cd adalah yang paling tinggi dibandingkan fitoplankton yang hidup di empat perairan situ lainnya.

Total Pb dalam perairan empat situ lainnya masih dalam batas aman untuk mendukung kehidupan biota di dalamnya, sedangkan di Situ Cikaret sudah di atas ambang batas aman. Pb partikulat dan Pb terlarut tertinggi dijumpai di Situ Rawa Kalong.

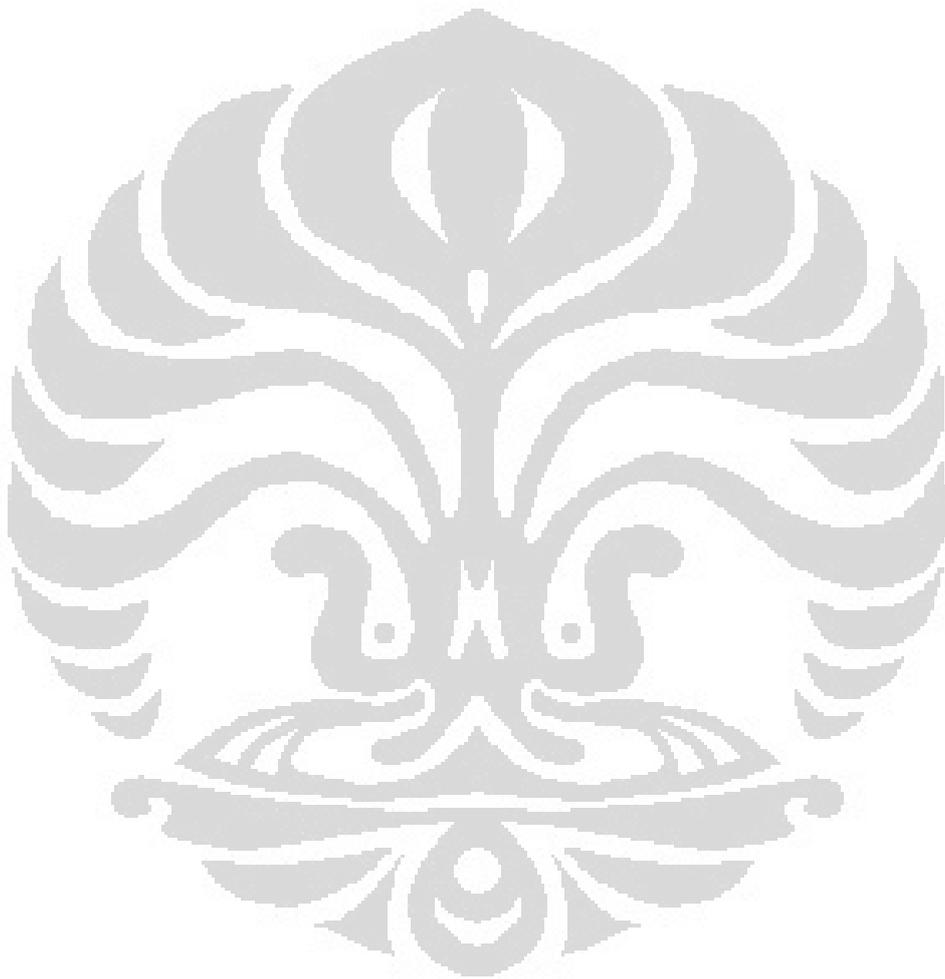
Konsentrasi Total Cd dan Cd terlarut pada lima perairan situ semuanya sudah di atas ambang batas toleransi untuk mendukung kehidupan biota di dalamnya dan konsentrasi tertinggi dijumpai pada Situ Lido. Deposisi Cd di sedimen tertinggi teramati terjadi di Situ Rawa Kalong dan besarnya mencapai 321,9 kali lebih tinggi dari rerata kandungan Cd dalam sedimen danau di Amerika Utara (Nguyen, *et al.*, 2005).

Kelimpahan fitoplankton tertinggi dijumpai pada kedalaman *Secchi* Situ Cibuntu yang didominasi oleh *M. granulata* dari filum Chrysophyta. Situ Rawa Kalong menempati urutan kedua yang didominasi oleh *Oscillatoria sp* dari filum Cyanophyta sampai pada taraf kondisi *algae blooming* dan hal ini sekali lagi membuktikan bahwa Situ Rawa Kalong tergolong sebagai perairan eutrofik. Diduga komunitas fitoplankton anggota filum Cyanophyta (antara lain terdiri atas *Oscillatoria sp*, *C. minutes*, *C. limneticus*, *Anabaena sp* dan *Spirullina sp*) dalam situ ini sangat adaptif terhadap adanya pencemaran Pb dan Cd di perairan tempat hidupnya.

## 5.2. Saran

Selanjutnya penulis menyarankan dilakukannya uji laboratorium (skala *mesocosm*) untuk menguji kemampuan Cyanophyta dari genus *Oscillatoria* yang hidup di perairan Situ Rawa Kalong dalam membioakumulasi Pb dan Cd. Uji laboratorium tersebut sebaiknya dilakukan terhadap kultur

komunitas maupun kultur tunggal dalam hal mengakumulasi Pb dan Cd dalam bentuk larutan campuran yang di tambahkan secara bervariasi kedalam larutan nutrisi pada kedua kultur tersebut. Hal ini penting untuk dilakukan mengingat potensi alga ini sebagai agen bioremediasi perairan situ yang telah tercemar logam Pb dan Cd.



## DAFTAR REFERENSI

Allen, H.E; Garrison, A.W; and Luther III, G.W. (1998). Industrial discharges of metals to waters dalam buku Metals in surface waters. Sleeping Bear Press Inc. Ann Arbor Press. Michigan. USA. 262p

Algal Blooms-Definition, Glossary, Details-Oilgae. Thursday, June 2 2011  
[http://www.oilgae.com/ref/glos/algal\\_blooms.html](http://www.oilgae.com/ref/glos/algal_blooms.html)

American Public Health Association-American Water Works Association-Water Environment Federation (APHA-AWWA-WEA). (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20 edition). Maryland

Anonim. (2010). Jawa barat jantung perikanan budidaya air tawar Indonesia. Friday, 10 December 2010. <http://www.perikanan-budidaya.kkp.go.id/index.php>.

ASTM Designation: D 1971-02. (2002). Standard Practises for digestion of water samples for determination of metals by flame atomic absorption, graphite furnace atomic absorption, plasma emission spectroscopy, or plasma mass spectrometry. An American National Standard. Annual book of ASTM Standards, Vol.11.01

Awalina and Hartoto. (2001). Heavy metal pollution in rivers at Tanjung Puting National Park, Central Kalimantan. Oseanologi dan Limnologi Indonesia. No.33: 27-40

Awalina-Satya, T. Chrimadha, dan F.Sulawesty. (2010). Biomagnifikasi Logam berat di Lingkungan Akuatik: Studi Kasus di Setu sekitar Bogor. Proceeding Seminar Nasional Limnologi 2010.

Awalina-Satya. (2009). BIOMAGNIFIKASI LOGAM BERAT DI LINGKUNGAN AKUATIK: STUDI KASUS DI SETU RAWA KALONG, DEPOK. Laporan Akhir tahun 2009 Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. Kegiatan Program Insentif

Peneliti dan Perekayasa LIPI. Departemen Pendidikan Nasional dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (2010). Analisis cuaca ekstrim wilayah Jabodetabek. <http://www.staklimpondoketung.net>

Baker, P.D. and Larelle D. Fabbro. (1999). A Guide to the Identification of Common Blue-Green Algae (Cyanoprokaryotes) in Australian Freshwaters. Identification Guide No. 25. Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology. 42 p.

Barwick, M and W.Maher. 2003. Biotransference and biomagnifications of selenium,copper,cadmium,zinc,arsenic and lead in a temperate seagrass ecosystem from Lake Macquarie estuary, NSW. Australia. Marine Environmental Research 56(2003) Elsevier Science Direct. page 471-502.

Bellinger, E.G and Sige DC (2010). Freshwater algae :identification and use as bioindictors. ISBN 978-0-470-05814-5.John Wiley and sons, Ltd.Oxford

Buffle, J. and De Vitre R.R. (1994). Uptake of trace metals by aquatic organisms. Dalam buku Chemical and Biological Regulation of aquatic system.CRC Press Inc. Lewis Publisher.Boca Raton.385 p.

Canadian Environmental Quality Guidelines. (1999). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. Canadian council of minister of the environment.

Chapman, D. (Ed.). (1996). Water quality assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Second edition. Published on Behalf of UNESCO/WHO/UNEP. University Press, Cambridge.

Chrismadha, T.; AwalinaSatya; F. Sulawesty. (2010). Pb accumulation pattern in simplified food chain of artificial inundated water system. In:

Furumai, H., Katayama, H., Puetpaiboon, U., Kyoung-Jin, A., Honda, R., Kasuga, I., Nishida, K., Visvanathan, C., Wattanachira, S., Setiadi, H., Kumar, M., (eds) Proceeding of The 8 th International Symposium on South East Asian Water Environment. Phuket, Thailand 24-26 Oktober 2010, 86-92.

Chen, C.Y., Stemberger, R.S., Kalue., B., Blum, JD., Pickhardt, P.C. and Folt, C.L. (2000). Accumulation of heavy metals in food web component across a gradient of lakes. *Limnol.Oceanogr.*, 45(7), 1525-1536. American Society of Limnology and Oceanography, Inc.

Croteau, M.N; Luoma, S.N; and Stewart, A.R. (2005). Trophic transfer metals along freshwater foodwebs: evidence of cadmium biomagnifications in nature. *Limnol.Oceanogr.*50 (5),2005. American Society of Limnology and Oceanography, Inc.1511-1519 p

Csuros, M and Csuros,C. (2002). Sample collection for metal analysis. Dalam buku Environmental sampling and analysis for metals.Lewis Publisher. A CRC Press Company. Boca Raton. 371 p.

G. Veinott and B. Sjare. (2006). Mercury, Cadmium, Selenium, and seven other elements in muscle, renal and hepatic tissues of harbour seals (*Phoca vitulina*) from New Foundland and Labrador, Canada. *Bulletin of Environmental and Toxicology* Vol 77 No.4. Springer. P 597-607.

Gell., P.A., J.A.Sonneman., M.A.Ried., M.A. Illman and A.J. Sincock. ( 1999). An Illustrated Key to Common Diatom Genera from Southern Australia. Identification Guide No. 26. Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology. 63 p.

Ginanjari, D.F (2011). Jabar pasok 30 % kebutuhan ikan tawar nasional. Inilah Jabar.com.Portal Berita Jawa Barat. Selasa 17 Mei 2011. 21:40 WIB. <http://www.inilahjabar.com/read/detail/1519472/jabar-pasok-30-kebutuhan-ikan-tawar-nasional>

Hitachi High-Technologies Corporation. (2006). Instruction manual for Model Z-2000 series Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometer (Operation manual: Graphite Furnace Atomizer). 5 th Edition. Part No. 7JO-9001-5TR-N (ST-HMS041012)

Legendre, P. and Legendre, L. (1998). Developments in Environmental Modelling, 20: Numerical Ecology. Second English Edition. Elsevier Inc. Amsterdam.

Liang.LN, Hu J.T., Chen D.Y, Zhou, Q.F., He, B., Jiang, G.B.(2004). Bull. Environ.Contam.Toxicol.72,937

Manahan, S.E. (2001). Water Pollution dalam buku Fundamentals of Environmental Chemistry. 2 th ed. CRC Press Lewis Pub. Boca Raton.Florida.1003 p.

Mason, C. (2002). Aquatic toxicology.dalam buku Biology of freshwater pollution.4 th ed. Pearson Education Ltd. Edinburg-England.387p.

Mizuno, T. (1970). Illustration of the freshwater plankton of Japan. Hoikusha Publishing Co. Ltd. 313 p.

Murko, S., Milacic, R., Veber, M., and Scancar, J., (2009). Determination of Cd, Pb and As in sediment of the Sava River by electrothermal atomic absorption spectrometry. J. Serb. Chem.Soc.75(1) 113-128 JSCS-3946

Nguyen, HL., Leermakers, M., Elskens, M., De Ridder, F., Doan, TH., Baeyens W. (2005). Correlations, partitioning and bioaccumulation of heavy metals between different compartements of Lake Balaton. Science of the Total Environment 341 , 211-226.Elsevier-Science Direct.

Peraturan Daerah Kabupaten Bogor No 19 tahun 2008. Rencana tata ruang wilayah kabupaten Bogor tahun 2005-2025.142 hal.

Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor PER.06/MEN/2010 tentang Rencana strategis Kementerian Kelautan dan Perikanan tahun 2010-2014.92 hal.

Peraturan Gubernur Jawa Barat Nomor 60 Tahun 2010. Percepatan penganeekaragaman konsumsi pangan berbasis sumberdaya lokal.  
<http://bkpd.jabarprov.go.id/data/arsip/SK-DK>

Prescott, G.W. (1951). Algae of the western Great Lakes area. Cranbrook Institute of Science. Bulletin No. 31. 946 p.

Prescott, G.W. (1970). How to know the freshwater algae. W.M.C. Brown Company Publisher. Iowa. 348 p.

Primpas, I., Tsirtsis, G., Karydis, M., Kokkoris G.D. (2010). Principal componnet analysis: development of multivariate index for assessing eutrophication according to the European water framework directive. Ecological Indicators 10, 178-183

Quevauviller P, (2002). Quality Assurance for Water Analysis. European Commission. Brussel, Belgium. John Wiley and Sons,ISBN0-471-89962-3

RI\_Usulkan\_Perikanan\_Masuk\_Pilar\_Ketahanan\_Pangan.  
<http://www.republika.co.id/berita/8375.24/7/10.9.00PM>

Scott, AM and G.W. Prescott. (1961). Indonesian Desmids. Hydrobiologia, Vol. XVII, No. 1-2. Whipple, G.C., Ward, H.B., (1963)., Freshwater Biology, Book 1- 2., 2nd edition, W.T Edmonson (ed.) , USA

Stumm, W and Morgan, J.J. (1996). Aquatic Chemistry. Chemical equilibria and rates in natural waters. Third edition. Environmental Science and Technology. A Wiley-Interscience series of text and monograph.

Torres, M.A., Barros, M.P., Campos, S.C.G, Pinto, E., Rajamani, S., Sayre, R.t Colepicolo, P. (2008). Biochemical biomarker in algae and marine pollution: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety .71, 1-15.

Ubaidillah, R., I. Maryanto, M. Amir, M. Noerdjito, E.B. Prasetyo, R. Polosakan. (2003). Manajemen Bioregional Jabodetabek: Tantangan dan Harapan. Pusat Penelitian Biologi-LIPI

Veinott, G. and B. Sjare. 2006. Mercury, Cadmium, Selenium, and seven other elements in muscle, renal and hepatic tissues of harbour seals (*Phoca vitulina*) from New Foundland and Labrador, Canada. Bulletin of Environmental and Toxicology Vol 77 No.4. Springer. P 597-607.

Weiner, E.R. (2008). Applications of Environmental aquatic Chemistry. A practical guide. Second edition. CRC Press. Taylor and Francis Group.

Wetzel, R.G.(2001). Limnology. 3 th Ed. W.B. Saunders College Company Publishing. Philadelphia. London.743 p.

Wu, S.D., Zhao, H.F (2006). The analytical methods in the monitoring of Water and waste water, China Environmental Science Press, Beijing

Zhou, Q.F.,Zhang,J.,Fu,J.,Shi,J.,Jiang G. (2008). Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. Analytica Chemica Acta, 606,135-150

Zulkarnain dan Susanto, A. "Pesawat Cessna jatuh di Danau Lido". Liputan6.com. :Berita 20/06/2004 17.40.  
<http://berita.liputan6.com/read/8060>