

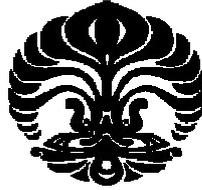
UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI TOKSISITAS AKUT TIMBAL (Pb), KROM (Cr),
KADMIUM (Cd), NIKEL (Ni) DAN ARSEN (As) TERHADAP
*Daphnia magna***

SKRIPSI

**PUTRI OKTAVIYANTI
0806315490**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI KIMIA
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI TOKSISITAS AKUT TIMBAL (Pb), KROM (Cr),
KADMIUM (Cd), NIKEL (Ni) DAN ARSEN (As) TERHADAP
*Daphnia magna***

**Skripsi diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Sains**

**PUTRI OKTAVIYANTI
0806315490**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI KIMIA
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Putri Oktaviyanti

NPM : 08063154490

Tanda Tangan : 

Tanggal : 5 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Putri Oktaviyanti
NPM : 0806315490
Program Studi : Kimia
Judul Skripsi : Studi Toksisitas Akut Timbal (Pb), Krom (Cr),
Kadmium (Cd), Nikel (Ni) dan Arsen (As)
Terhadap *Daphnia magna*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing	: Dr. rer. nat. Budiawan	(.....)
Penguji I	: Dra. Susilowati.Hs, M.Sc	(.....)
Penguji II	: Dr. Agustino Zulys	(.....)
Penguji III	: Drs. Sunardi, M.Sc	(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains di Program Studi S1 Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak sangat penting dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.rer.nat Budiawan selaku pembimbing penelitian yang telah mengarahkan saya selama penelitian dan penulisan skripsi
2. Mba Nira selaku asisten pak Budiawan yang telah banyak memberikan masukan agar skripsi saya menjadi lebih baik
3. Drs. Sunardi, M.Si selaku Penguji saya saat seminar dan sidang
4. Dr. Agustino Zulys selaku Penguji saya saat seminar dan sidang
5. Dra. Susilowati. Hs, M.Sc selaku Penguji saya saat seminar dan sidang
6. Asef Saefumillah, Ph.D selaku Pembimbing akademik yang telah memberikan nasehat dan masukan selama masa perkuliahan
7. Dr. Ridla Bakri selaku Ketua Departemen Kimia UI
8. Dra. Tresye Utari, M.Si selaku Koordinator Penelitian
9. Mama dan bapak saya yang selalu memberikan semangat dan dukungan tanpa henti kepada saya, skripsi ini saya persembahkan khusus untuk kalian.
10. Mas indra dan ka nila yang selalu memberikan nasehat kepada saya
11. Ayu yang telah meminjamkan laptop meski kadang pelit
12. Jupe yang telah mengajari saya analisis probit
13. Teman – teman satujuh (dewi, desti, azizah, lita, lala), mimi dan amel yang selalu menemani saya saat masa perkuliahan dan penelitian

14. Mas Boy yang telah menemani saya membeli dan merawat *Daphnia magna*.
15. Pak Hedi S, Pak Marji, Pak Hadi, Babeh, Mba Ema, Mba Tri, Mba Ina, Mba Cucu, Mba eva, Mbak Sri, Pak Min, dan Pak Kiri serta departemen kimia yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini
16. Teman – teman liqo saya dan ka nita yang telah memberikan pencerahan agama disaat saya penat dan lelah
17. Teman – teman kimia 2008 yang telah menjadi teman terbaik saya saat kuliah.
18. Teman – teman sesama bimbingan (Rasti, uni, intan, lilid dan danil) yang telah merasakan susah dan senang saat penelitian.
19. Kak zetry yang telah menjadi tempat bertanya saya saat saya bingung
20. Semua teman – teman dilantai 4 (dila, sari, dian, qnoy, bali, hafiz, rakmat, linyo, prily, esti, adi) yang selalu baik dan ramah
21. Kandi, ayun, galuh, dan semua praktikan biokimia saya terima kasih sudah memberikan semangat pada saya

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penelitian dan penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menerima segala saran dan kritik demi perbaikan masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan pada umumnya dan ilmu kimia pada khususnya.

Depok, Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Putri Oktaviyanti
NPM : 0806315490
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-eksklusif Royalty-free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Studi Toksisitas Akut Timbal (Pb), Krom (Cr), Kadmium (Cd), Nikel (Ni) dan Arsen (As) Terhadap *Daphnia magna*

Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/ format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan 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: Depok
Pada tanggal : 5 Juli 2012
yang menyatakan

(Putri Oktaviyanti)

ABSTRAK

Nama : Putri Oktavianti
Program Studi : Kimia S1 Reguler
Judul : Studi Toksisitas Akut Timbal (Pb), Krom (Cr), Kadmium (Cd),
Nikel (Ni) dan Arsen (As) Terhadap *Daphnia magna*

Pencemaran logam berat menimbulkan dampak negatif bagi ekosistem perairan karena sifatnya yang persisten dan mudah terakumulasi dalam jaringan tubuh biota oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan uji toksisitas akut (EC_{50-24h}) dari logam berat Pb, Cd, Cr, Ni, dan As pada *Daphnia magna* yang mengacu pada OECD 202 *Guidelines*. Data immobilisasi yang diperoleh diolah menggunakan analisis probit (SPSS 15). Selain itu dilakukan pengujian toksisitas melalui simulasi fraksi sedimen dan analisis kadar logam berat dalam fraksi sedimen di Perairan Teluk Jakarta dengan ekstraksi menggunakan 3 variasi pH, yaitu pH 3, 5 dan 7. Pembuatan fraksi asam pH 3 dan 5 menggunakan prosedur TCLP (*toxicity characteristic leaching procedure*). Sedimen yang telah dipreparasi di analisis dengan *Atomic Absorbance Spectroscopy* (AAS). Dari hasil pengujian diperkirakan nilai EC_{50-24h} Cd, As, Ni, Cr, Pb terhadap *Daphnia magna* adalah 1,663 $\mu\text{g/l}$; 2,369 mg/l; 2,471 mg/l; 12,225 mg/l, 23,136 mg/l. EC_{50-24h} Pb jauh lebih besar dari literatur karena terjadi pengendapan yang diduga menurunkan bioavailabilitas logam terhadap *Daphnia*. Hasil dari analisa logam berat dalam sedimen diperoleh kadar logam berat dengan fraksi pH 3 umumnya lebih besar dari fraksi pH 5 dan 7. Hasil pengamatan toksisitas dari simulasi fraksi sedimen menunjukkan toksisitas pada keseluruhan hewan uji yang menandakan bahwa Perairan Teluk Jakarta berpotensi membahayakan bagi kehidupan biota. Pengujian toksisitas campuran logam Cd-Cr-Ni-As dengan konsentrasi yang mengacu pada nilai EC_{50-24h} Cd memperlihatkan efek sinergis walaupun tidak signifikan.

Kata kunci: *Daphnia magna*, EC_{50-24h} , timbal, arsen, cadmium, nikel, chromium, sedimen, toksisitas akut, campuran

xii + 91 halaman = 15 gambar, 10 lampiran, 24 tabel

Daftar pustaka = 51 (1978 – 2011)

ABSTRACT

Name : Putri Oktaviyanti
Study Program : Chemistry
Title : Acute Toxicity Study of Lead (Pb), Chromium (Cr), Nickel (Ni)
and Arsenic (As) To *Daphnia magna*

Heavy metals pollution adverse impacts on aquatic ecosystems because of its persistent and easy to accumulate in biota tissue and therefore in this study tested the acute toxicity (EC_{50-24h}) of the heavy metals Pb, Cd, Cr, Ni, and As in *Daphnia magna* which refers to the OECD Guidelines 202. The data obtained were statistically evaluated with probit analysis method (SPSS 15). In addition, it has also been conducted of toxicity test through simulation of sediment fraction and observation heavy metals content in the sediment fraction at Jakarta bay waters by extraction using 3 variations of pH such as pH 3, 5 and 7. Preparation pH 3 and 5 acid fraction using the TCLP procedure (*toxicity characteristic leaching procedure*). Heavy metals content in sediment has analysed by Atomic Absorbance Spectroscopy (AAS). The EC_{50-24h} of Cd, As, Ni, Cr, Pb to *Daphnia magna* was estimated to be 1,663 $\mu\text{g/l}$; 2,369 mg/l; 2,471 mg/l; 12,225 mg/l, 23,136 mg/l, respectively. The EC_{50-24h} of Pb has larger value than literature due to the precipitation reaction which reduce the bioavailability of this metal to *Daphnia*. The result of heavy metals content in sediment showed that the average concentration in pH 3 fraction was higher than pH 5 and pH 7 fraction. The toxicity result from sediment fraction simulation showed the overall toxicity in organism test which indicated Jakarta bay waters are potentially harmful to aquatic ecosystem. Testing the toxicity of Cd-Cr-Ni-As mixture which refers to EC_{50-24h} of Cd showed a synergistic effect, although not significantly.

Key word: *Daphnia magna*, EC_{50-24h} , lead, arsenic, cadmium, nickel, chromium, sediment, acute toxicity, mixture
xiii + 91 pages = 15 pictures, 10 appendix , 24 tables
references = 51 (1978 – 2011)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesa.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Toksikologi Lingkungan.....	6
2.2 Toksisitas Akut Pada Biota Perairan.....	7
2.3 OECD Guidelines.....	8
2.4 <i>Daphnia magna</i>	9
2.4.1 Daur hidup dan Morfologi <i>Daphnia magna</i>	9
2.5 Logam Berat dan Sedimen.....	11
2.6 Logam Berat dalam perairan.....	13
2.6.1 Timbal (Pb).....	15
2.6.2 Cadmium (Cd).....	16
2.6.3 Chromium (Cr).....	17
2.6.4 Arsen (As).....	19
2.6.5 Nikel (Ni).....	20
2.7 Efek Toksik Logam Pada Biota.....	21
2.8 <i>Atomic Absorbance Spectroscopy</i> (AAS).....	22
METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Lokasi Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan.....	24
3.3 Prosedur Kerja.....	25
3.3.1 Pengambilan Sampel Sedimen.....	26
3.3.2 Persiapan dan Pengawetan Sampel Uji.....	26
3.3.3 Preparasi Pengujian.....	26
3.3.3.1 Pembuatan larutan HNO ₃ 1,0 N.....	26
3.3.3.2 Pembuatan larutan standar logam berat.....	26
3.3.4 Penentuan LOD dan LOQ.....	27

3.3.5 Penentuan kadar logam berat secara total.....	27
3.3.6 Penentuan kadar logam berat dengan ekstraksi.....	28
3.3.7 Uji Toksisitas Akut Pada <i>Daphnia Magna</i>	28
3.3.7.1 Pengkulturan <i>Daphnia magna</i>	28
3.3.7.2 Validitas Test.....	29
3.3.7.3 Uji Toksisitas Akut Logam Tunggal.....	29
3.3.7.3 Uji Toksisitas Akut dari Simulasi Fraksi sedimen	30
3.3.7.4 Uji Toksisitas Akut Logam Campuran (Cr, Cd, Ni, dan As).....	31
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Uji Toksisitas Akut dengan <i>Daphnia magna</i>	35
4.2 Optimasi Kontrol.....	36
4.3 Uji Toksisitas Akut Logam Berat.....	37
4.3.1 Uji toksisitas akut Cadmium (Cd)	37
4.3.2 Uji toksisitas akut Arsen (As).....	40
4.3.3 Uji toksisitas akut Chromium (Cr).....	42
4.3.4 Uji toksisitas akut Nikel (Ni).....	45
4.3.5 Uji toksisitas akut Timbal (Pb).....	47
4.4 Uji Toksisitas campuran logam.....	52
4.4.1 Kandungan Logam Berat Pada Sedimen Teluk Jakarta.....	52
4.4.2 Uji Toksisitas dari Simulasi Fraksi Sedimen.....	58
4.5 Mekanisme masuknya logam berat.....	61
4.6 Faktor fisika dan kimia selama penelitian.....	62
KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66

DAFTAR GAMBAR

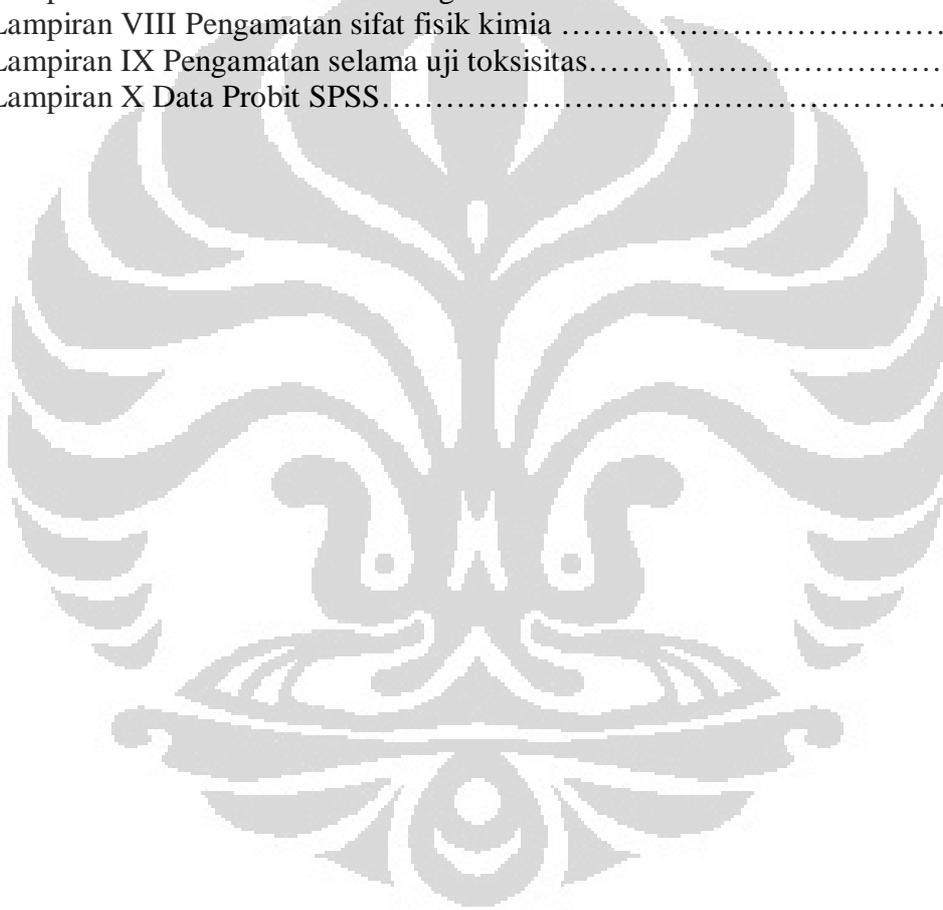
Gambar 2.1. <i>Daphnia magna</i> jantan, betina dan neonate.....	9
Gambar 2.2 Morfologi <i>Daphnia magna</i>	10
Gambar 2.3 Proses yang terjadi bila logam berat masuk ke lingkungan.....	13
Gambar 3.0 Skema kerja secara umum.....	32
Gambar 4.1 Optimasi kontrol pada <i>Daphnia</i>	36
Gambar 4.2 Grafik EC _{50-24h} Cd ²⁺	39
Gambar 4.3 Grafik EC _{50-24h} As ⁵⁺	41
Gambar 4.4 Grafik EC _{50-24h} Cr ³⁺	44
Gambar 4.5 Grafik EC _{50-24h} Ni ²⁺	46
Gambar 4.6 Larutan logam Pb 100 mg/l dalam <i>freshwater</i>	47
Gambar 4.7 Grafik EC _{50-24h} Pb ²⁺	50
Gambar 4.8 Keadaan perairan Teluk Jakarta saat sampling sedimen.....	53
Gambar 4.9 Lokasi sampling sedimen.....	53
Gambar 4.10 Preparasi Fraksi sedimen Perairan Teluk Jakarta.....	54
Gambar 4.11 Kadar total logam berat dalam sedimen di Perairan Teluk Jakarta.....	56
Gambar 4.12 Grafik uji toksisitas dari simulasi fraksi sedimen.....	59
Gambar 4.13 Grafik uji toksisitas logam campuran.....	60
Gambar 4.14 Konsep model interaksi logam dengan organisme.....	61
Gambar 4.15 Model interaksi logam dengan sistein.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Logam di dalam hidrosfer	35
Tabel 4.2 <i>Range finding test</i> Cd.....	37
Tabel 4.3 <i>Definitive test</i> (I) Cd.....	38
Tabel 4.4 <i>Definitive test</i> (II) Cd.....	38
Tabel 4.5 <i>Definitive test</i> (III) Cd.....	38
Tabel 4.6 <i>Definitive test</i> (IV)Cd.....	39
Tabel 4.7 <i>Range finding test</i> As.....	40
Tabel 4.8 <i>Definitive test</i> (I) As.....	40
Tabel 4.9 <i>Definitive test</i> (II) As.....	41
Tabel 4.10 <i>Range finding test</i> Cr.....	43
Tabel 4.11 <i>Definitive test</i> (I) Cr.....	43
Tabel 4.12 <i>Definitive test</i> (II) Cr.....	43
Tabel 4.13 <i>Range finding test</i> Ni.....	45
Tabel 4.14 <i>Definitive test</i> Ni.....	45
Tabel 4.15 Kesadahan air.....	48
Tabel 4.16 Komposisi <i>Freshwater</i>	48
Tabel 4.17 <i>Range finding test</i> Pb.....	50
Tabel 4.18 <i>Definitive test</i> Pb.....	50
Tabel 4.19 Nilai EC_{50-24h} Logam Berat.....	51
Tabel 4.20 Data sampling sedimen.....	53
Tabel 4.21 Data LOD dan LOQ logam berat.....	55
Tabel 4.22 Kadar logam berat dalam fraksi.....	58
Tabel 4.23 Pengamatan immobilisasi <i>Daphnia</i> dari simulasi fraksi sedimen..	59
Tabel 4.24 Pengamatan toksisitas dari logam campuran.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Kondisi Instrumentasi.....	6
Lampiran II Kadar logam Cadmium (Cd) dalam sedimen.....	69
Lampiran III Kadar logam Chromium (Cr) dalam sedimen.....	70
Lampiran IV Kadar logam Nickel (Ni) dalam sedimen.....	71
Lampiran V Kadar logam Timbal (Pb) dalam sedimen	72
Lampiran VI Kadar logam Arsen (As) dalam sedimen.....	73
Lampiran VII Verifikasi metode logam berat.....	74
Lampiran VIII Pengamatan sifat fisik kimia	77
Lampiran IX Pengamatan selama uji toksisitas.....	77
Lampiran X Data Probit SPSS.....	82



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran adalah perubahan yang tidak dikehendaki akibat aktivitas manusia. Pencemaran terjadi akibat masuknya material pencemar ke suatu ekosistem lingkungan diantaranya adalah logam berat yang kebanyakan akibat dari buangan limbah industri (Hutagalung, 1997).

Perairan Teluk Jakarta merupakan salah satu perairan di Indonesia yang padat dengan berbagai jenis kegiatan manusia. Praseno dan Kastoro (1980) menyatakan bahwa perairan Teluk Jakarta mempunyai berbagai macam fungsi, antara lain sebagai mata pencaharian nelayan, tempat lalu lintas kapal laut karena Pelabuhan Tanjung Priok merupakan pintu gerbang Indonesia yang terbesar, tempat pelabuhan ikan, pelabuhan kayu, sebagai tempat rekreasi dan pariwisata. Disamping itu Perairan Teluk Jakarta juga merupakan badan air terakhir yang menampung limbah dari industri-industri dan pembuangan sampah yang ada di Jakarta dan sekitarnya yang membuang limbahnya secara langsung maupun tidak langsung yaitu melalui 13 sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta. Tempatnya yang begitu padat dengan aktivitas penduduk ditambah letaknya yang dekat dengan daerah industrialisasi sangat memungkinkan untuk terjadinya pencemaran di perairan teluk jakarta khususnya pencemaran yang disebabkan oleh logam berat.

Pencemaran logam berat di Teluk Jakarta pertama kali diungkapkan oleh Yatim *et al.* (1979). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kadar logam berat dalam air di Teluk Jakarta sudah tergolong tinggi, bahkan beberapa lokasi seperti Muara Angke dan Untung Jawa kadar logam beratnya cenderung meningkat. Dari hasil penelitian Hutagalung (1987) di perairan Muara Angke menunjukkan bahwa air laut, udang, kerang – kerangan dan beberapa jenis ikan di Muara Angke telah tercemar oleh merkuri (Hg), timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang berasal dari kegiatan di darat khususnya industri yang membuang limbahnya ke kali Angke. Sedangkan data BPLHD (2004) menunjukkan kandungan logam berat pada waktu air pasang adalah Cu 117 mg/kg, Pb 195 mg/kg, Cr 179,4 mg/kg, Ni 62,4 mg/kg,

dan Zn 432 mg/kg. Terlihat di sini bahwa terjadi kenaikan kandungan beberapa logam berat di perairan Teluk Jakarta dalam kurun waktu sepuluh tahun ini. Hasil penelitian Indo-Repro Indonesia sumber pencemar dari industri antara lain logam berat, POP (*Persistent organic pollutants*) dan hidrokarbon (minyak). Disebutkan juga bahwa sejak tahun 1987, Teluk Jakarta telah tercemar limbah dari sekitar 800 industri yang berada di pinggir pantai karena hanya 10 persen yang memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

Logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya karena sifatnya yang *non degradable*, persisten dan mudah terakumulasi dalam jaringan tubuh biota. Dalam perairan logam berat mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan pada akhirnya bersatu dengan sedimen.

Sedimen memainkan peranan penting sebagai sink (tujuan akhir /tempat penampungan dari logam – logam) dan memiliki potensi pelepasan zat – zat pencemar tersebut ke dalam kolom air yang disertai perubahan fisik kimiawi seperti perubahan pH perairan (Budiawan, 2007). Sedimen tidak hanya sebagai tempat untuk kontaminan tetapi juga sebagai sumber untuk air di atasnya dan organisme akuatik (Burton *et al.*, 2005). Sedimen yang terkontaminasi dapat menyebabkan efek toksik pada organisme dan merupakan sumber kontaminan bagi rantai makanan di perairan.

Karena adanya dampak negatif yang ditimbulkan oleh logam berat maka perlu dilakukan uji toksisitas akut untuk menentukan konsentrasi bahan uji (logam berat) yang dapat menimbulkan pengaruh yang merugikan dalam jangka waktu pemaparan yang pendek. Hasil dari uji toksisitas ini berupa EC_{50} (*Effect Median Concentration*) yang merupakan suatu nilai konsentrasi yang menyebabkan kematian sebanyak 50% dari jumlah organisme uji. Kematian pada beberapa invertebrata seperti *Daphnia* dan *midge larvae* sebagai biota uji berupa immobilisasi yang diartikan sebagai tidak bergerak dan tidak bereaksi terhadap sentuhan perlahan.

Menurut US-EPA logam berat yang berpotensi memiliki daya racun tinggi terhadap biota laut dan kerusakan lingkungan perairan diantaranya adalah Cd, Ni, Pb, As dan Cr (Sanusi, 2006) oleh sebab itu dalam penelitian ini dilakukan

uji toksisitas akut logam berat Cd, Ni, Pb, As dan Cr pada biota uji *Daphnia magna*.

Crustaceae merupakan salah satu kelompok yang paling *sensitive* terhadap bahan kimia pencemar seperti logam berat, pestisida dan detergen. Organisme ini memiliki peran penting dalam ekologi perairan. Oleh karenanya, *crustaceae* umumnya digunakan dalam pengujian ekotoksikologi (Hanazato, 1998). *Daphnia magna* merupakan organisme akuatik yang sering digunakan dalam uji toksisitas yang telah diakui sebagai standar bioindikator toksisitas perairan oleh organisasi internasional seperti *United States - Environmental Protection Agency* (US-EPA) dan *Organisation For Economic Cooperation and Development* (OECD). Penggunaan *Daphnia magna* sebagai indikator toksisitas ini karena laju pertumbuhannya yang cepat, tingkat reproduksinya tinggi, dan siklus hidupnya pendek (Cooman *et al.*, 2005).

Daphnia magna merupakan komponen penting dalam rantai makanan, yaitu sebagai konsumen primer dan sumber makanan bagi ikan di perairan, sehingga jika keberadaan *Daphnia magna* terancam oleh pencemaran logam berat maka akan mengurangi sumber makanan di perairan dan beresiko terhadap akumulasi dari kontaminasi logam berat untuk rantai makanan selanjutnya.

Oleh karena itu melalui penelitian ini, dilakukan uji toksisitas akut logam berat berdasarkan hasil pemantauan terhadap kualitas sedimen di perairan Teluk Jakarta melalui metode ekstraksi dengan pengaruh pH serta dilakukan uji toksisitas akut logam tunggal terhadap *Daphnia magna* yang berperan sebagai bioindikator pencemaran akuatik (APHA, 2005).

1.2 Rumusan Masalah

Pencemaran yang terjadi di Teluk Jakarta diketahui mengandung berbagai logam berat seperti Pb, Cd, Cr, Ni dan As (KPPL DKI Jakarta, 1996) yang dapat mengganggu ekosistem perairan, terutama biota perairan yang merupakan bagian dari mata rantai makanan dalam perairan tersebut. Pencemaran logam berat dapat berpengaruh pula pada kualitas sedimen di perairan karena sifat logam berat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan serta bersatu dengan sedimen (Hutagalung, 1991). Kandungan logam berat dalam sedimen ini

dapat berkontribusi ke dalam perairan sekitarnya dikarenakan adanya faktor pengaruh diantaranya oleh pH perairan sehingga logam berat dapat terlepas (*leaching*) dari sedimen ke lingkungan perairan (Zerbe, J., 1999). Karena itu, perlu dilakukan studi toksisitas dengan menentukan besarnya kadar logam berat Pb, Cd, Cr, Ni dan As yang terkandung dalam fraksi sedimen di Perairan Teluk Jakarta melalui metode ekstraksi dengan pengaruh pH.

Untuk mengetahui sifat toksisitas logam berat tersebut, maka dilakukan pula uji toksisitas akut pada *Daphnia magna* baik dalam keadaan tunggal maupun campuran melalui simulasi kandungan logam berat dalam sedimen.

1.3 Tujuan Penelitian

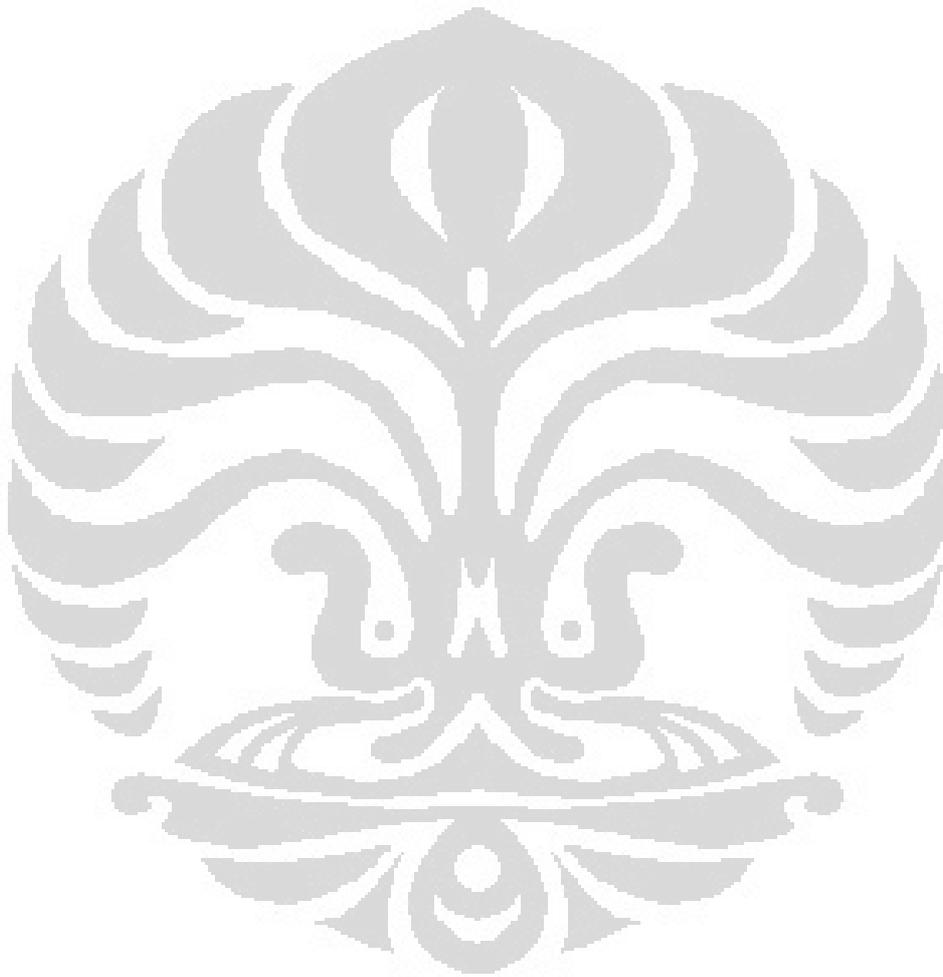
Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui nilai toksisitas (EC_{50-24h}) logam berat Pb, Cd, Cr, Ni, dan As terhadap *Daphnia magna*.
2. Mengetahui kadar logam berat Pb, Ni, Cd, Cr, dan As di Perairan Teluk Jakarta.
3. Mengetahui pengaruh yang pH terhadap fraksi sedimen
4. Melakukan uji toksisitas dari simulasi fraksi sedimen dan melihat fenomena toksisitas yang terjadi terhadap *Daphnia magna*.
5. Melakukan uji toksisitas dari logam dalam keadaan campuran dan melihat pengaruhnya terhadap *Daphnia magna*.

1.4 Hipotesa

- Diperkirakan urutan toksisitas logam berat pada *Daphnia magna* adalah sebagai berikut: $Cd^{2+} > Ni^{2+} > As^{5+} > Pb^{2+} > Cr^{3+}$
- Diperkirakan kadar logam berat pada fraksi sedimen pH 3 lebih tinggi dari fraksi sedimen pH 5 dan 7.
- Terjadi toksisitas logam berat pada *Daphnia magna* dari simulasi fraksi sedimen selama pengujian 24 jam.
- Perairan Teluk Jakarta telah tercemar logam berat yang berpotensi membahayakan kehidupan biota akuatik di sekitarnya.

- Terdapat perbedaan toksisitas logam berat pada *Daphnia magna* dimana logam berat Cadmium (Cd) memiliki toksisitas tertinggi terhadap *Daphnia magna*.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Toksikologi Lingkungan

Toksikologi lingkungan adalah ilmu tentang perilaku dan efek yang merugikan dari bahan kimia yang beredar di lingkungan pada sistem biologik, dan sangat bermanfaat untuk memprediksi atau mengkaji akibat yang berkaitan dengan bahaya toksik dari bahan kimia pada makhluk hidup dan lingkungannya.

Bahan atau zat beracun yang dapat menimbulkan pengaruh buruk pada sistem biologi, merusak struktur dan fungsi organ tubuh, atau mengakibatkan kematian disebut racun (toksin). Toksisitas merupakan ukuran kemampuan (daya) relatif suatu bahan kimia yang dapat memberikan pengaruh merugikan pada organisme hidup (Rand & Petrocelli, 1985). Pengaruh – pengaruh toksik itu meliputi kematian dan pengaruh – pengaruh lain, misalnya perubahan pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, patologi, biokimia, fisiologi dan tingkah laku (Rand & Petrocelli, 1985). Pemaparan adalah reaksi kontak antara organisme dan bahan kimia yang sangat penting peranannya dalam uji toksisitas yang berpengaruh akut. Pengaruh akut adalah pengaruh yang berlangsung cepat sebagai hasil pemaparan jangka pendek suatu bahan kimia.

Uji toksisitas adalah suatu uji yang digunakan untuk mengevaluasi konsentrasi bahan kimia dan lamanya pemaparan yang menimbulkan pengaruh tertentu. Berdasarkan sifat pengaruh toksin terhadap organisme uji, uji toksisitas dibagi menjadi 2, yaitu:

a) Uji toksisitas akut

Uji toksisitas akut bertujuan untuk mengetahui konsentrasi bahan uji (bahan kimia atau limbah) atau perubahan suhu dan pH yang dapat menimbulkan pengaruh merugikan pada sekelompok biota uji selama pemaparan jangka pendek dan dengan kondisi terkontrol. Uji toksisitas akut yang seringkali dilakukan adalah uji akut letal (mati) karena mati adalah respon paling mudah diamati. Kriteria mati disini adalah tidak bergerak (immobilisasi) dan tidak bereaksi terhadap sentuhan perlahan. Berdasarkan hasil penelitian, 50% respon merupakan

pengamatan yang paling dapat diulang dari toksisitas bahan uji, dan 96 jam (atau kurang) adalah standar waktu pemaparan karena pada umumnya pada kurun waktu tersebut sudah dapat menunjukkan periode aksi akut letal. Meskipun uji toksisitas normal adalah 96 jam, tetapi beberapa macam hewan termasuk *Daphnia sp* dipapari hanya 24 – 48 jam, karena hal – hal khusus yang berkenaan dengan proses perkembangan hewan tersebut (Rand & Petrocelli, 1985).

b) Uji toksisitas kronis

Uji toksisitas kronik atau subkronik terjadi jika pemaparan berlangsung lama, letal maupun subletal, menimbulkan perubahan tingkah laku (cara berenang, penghindaran, dan hubungan mangsa – memangsa), perubahan fisiologi (pertumbuhan, reproduksi), dan perubahan biokimia (enzim darah, tingkatan ion) (Rand & Petrocelli, 1985).

2.2 Toksisitas Akut Pada Biota Perairan

Uji toksisitas perairan digunakan untuk melindungi biota perairan dari pengaruh bahan – bahan kimia yang dapat mencemari lingkungan dan sebagai peringatan dini (*early warning*) bagi para pelaku industri agar tidak membuang limbah yang mengandung bahan kimia diatas nilai EC_{50} (*effect median concentration*) biota uji ke perairan. Biota uji yang sering digunakan dalam uji toksisitas yang telah diakui sebagai bioindikator toksisitas perairan oleh organisasi internasional seperti *United States - Environmental Protection Agency* (US-EPA) dan *Organisation For Economic Cooperation and Development* (OECD) adalah ikan, *crustaceae* dan alga. Dalam penelitian ini digunakan *Daphnia magna* sebagai wakil dari *crustaceae* dalam pengujian toksisitas akut. Penggunaan *Daphnia magna* sebagai indikator toksisitas ini karena *Daphnia magna* merupakan salah satu kelompok yang paling *sensitive* terhadap bahan kimia pencemar seperti logam berat, pestisida dan detergen. Organisme ini memiliki peran penting dalam ekologi perairan, laju pertumbuhannya yang cepat, tingkat reproduksinya tinggi, dan siklus hidupnya pendek (Cooman *et al.*, 2005).

2.3 OECD Guidelines

OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) merupakan organisasi untuk kerjasama dan pengembangan ekonomi. *The OECD Guidelines for the Testing of Chemicals* merupakan kumpulan metode yang telah disetujui secara internasional dan digunakan oleh pemerintah, industri dan laboratorium ilmiah untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi potensial bahaya dari substansi baru maupun yang telah ada, bahan kimia baik dalam bentuk tunggal ataupun dalam campuran.

Pengujian toksisitas akut pada *Daphnia magna* mengacu pada OECD Guidelines 202 mengenai *Daphnia sp., Acute Immobilisation test*. Panduan ini mendeskripsikan tentang uji toksisitas akut dengan melihat pengaruh bahan kimia terhadap *Daphnia*. Prinsipnya *Daphnia* muda yang berumur \pm 24 jam diujikan dalam larutan toksikan, immobilisasi diamati setelah 24 jam dan dibandingkan dengan kontrol. Hasil pengujian berupa nilai EC_{50} yaitu perkiraan konsentrasi yang dapat mengimmobilisasi 50% *Daphnia* setelah pemaparan selama 24 jam.

Kondisi untuk validitas tes:

- Pada kontrol tidak lebih dari 10% *Daphnia* terimmobilisasi atau terjebak pada permukaan air.
- Konsentrasi dari oksigen terlarut pada akhir test sebaiknya ≥ 60 % kadar oksigen jenuh sesuai dengan temperatur lingkungan.

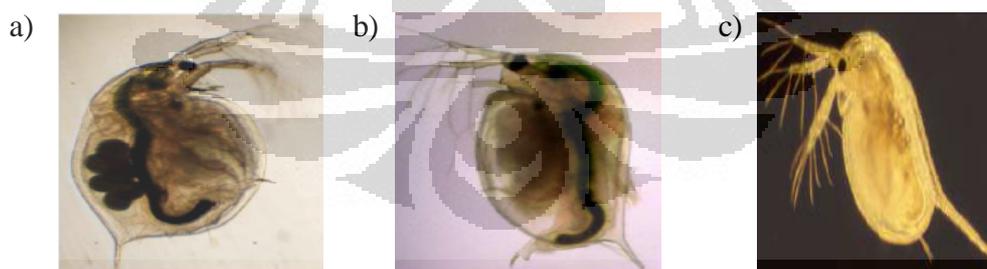
Dalam pengujian ini disarankan menggunakan *Daphnia magna strauss* meskipun spesies *Daphnia* yang lain juga dapat digunakan seperti *Daphnia pulex*. Pada awal test, hewan yang digunakan sebaiknya berumur kurang dari 24 jam untuk mengurangi keheterogenan ukuran. Sangat disarankan untuk tidak menggunakan hewan yang sedang hamil. *Daphnia* sebaiknya berasal dari stok yang sehat dan tidak menunjukkan tanda stress. Air yang digunakan untuk pengkulturan berupa air tanah, air sumur atau air keran bebas klor. Uji toksisitas akut dibagi menjadi dua tahapan: pertama, penentuan rentang konsentrasi untuk pengujian dengan melakukan *range finding test*. Kemudian pengujian toksisitas akut dengan rentang konsentrasi yang diperoleh, tahap kedua ini disebut *definitive test*. Untuk analisis data sebaiknya data dibuat dalam bentuk tabular terlebih

dahulu, kemudian data dianalisis dengan menggunakan analisa probit untuk menghitung EC_{50} dengan 95% *confidence limit*. (OECD Guidelines, 2002)

2.4 *Daphnia magna*

Daphnia magna merupakan kelompok udang – udangan dan hidup di daerah akuatik. *Daphnia magna* memiliki ukuran tubuh sekitar 2 mm untuk jantan dan 3-5 mm untuk betina (Clare, 2002). Ukuran tubuh *Daphnia magna* jantan lebih kecil dibanding dengan betinanya. Organ tambahan pada bagian abdominal dimiliki oleh *Daphnia magna* jantan berperan dalam proses reproduksi. Organ tambahan tersebut berfungsi untuk memeluk betina dari belakang dan membuka karapaks betina, sehingga spermateka dapat masuk dan membuahi sel telur. *Daphnia magna* disebut sebagai kutu air karena pergerakannya naik turun seperti melompat dalam air.

Kingdom	: Animalia
Phylum	: Arthropoda
Subphylum	: Crustacea
Classis	: Branchiopoda
Ordo	: Cladocera
Familia	: Daphnidae
Genus	: <i>Daphnia</i>
Species	: <i>Daphnia magna</i>



Gambar 2.1 *Daphnia magna* betina (a) *Daphnia magna* jantan (b) neonate (c)

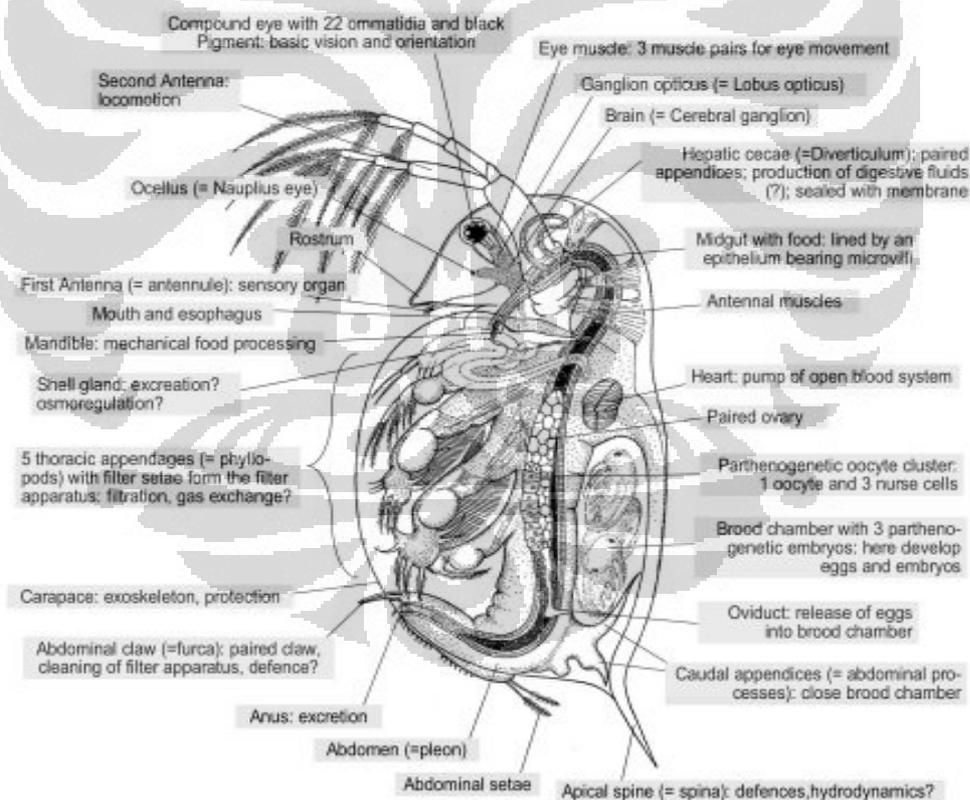
(Sumber: Ebert, 2005)

2.4.1 Daur hidup dan Morfologi *Daphnia magna*

Daphnia magna memiliki morfologi khusus dimana bentuk keseluruhan tubuhnya menyerupai ginjal dan transparan, memiliki hanya satu mata majemuk,

dua antena yang bercabang dengan panjang hampir mencapai setengah panjang badan keseluruhan dan di dalam karapaks terdapat jaringan yang menyerupai daun dan membentuk aliran air yang membawa makanan dan oksigen ke bagian mulut dan insang.

Tubuh *Daphnia magna* dilindungi oleh eksoskeleton yang disebut karapaks termasuk rongga dada yang terdiri atas 4 – 6 rongga. Pada bagian ini terdapat *brood chamber* atau tempat penyimpanan hasil reproduksi sebelum dikeluarkan. Bagian abdomen dan post abdomen melekuk ke dalam pada bagian yang dekat dengan kepala. Bagian post abdomen memiliki sepasang kaki dengan semacam kuku yang panjang dan berfungsi untuk membersihkan debris di karapaks. Pergerakan berenang dari *Daphnia* dikendalikan oleh gerakan antena sekunder yang berukuran besar dengan memberi tekanan ke bagian bawah (Clare, 2002).



Gambar 2.2. Morfologi *Daphnia magna*

(Sumber: Ebert et al, 2005)

Mekanisme reproduksi *Daphnia magna* dilakukan dengan cara parthenogenesis dan perkawinan. Parthenogenesis adalah kemampuan untuk

melakukan replikasi sendiri yang menghasilkan anakan yang sifatnya sama dengan induknya. *Daphnia magna* mulai menghasilkan anak pada umur 4 – 6 hari. Rentang hidup daphnia sejak dikeluarkan hingga kematian pada saat dewasa bervariasi dan dipengaruhi kondisi spesies serta lingkungan habitatnya (Geralwin, 2007). *Daphnia magna* dapat hidup rata – rata pada umur 12 hari. *Daphnia* dapat hidup selama 4 bulan pada suhu antara 22 – 32⁰C. Rentang suhu ini merupakan rentang suhu optimal bagi pertumbuhan dan perkembangan *Daphnia magna*. *Daphnia magna* mampu hidup dalam kisaran pH 6,5 – 9,5 dengan nilai pH optimal antara 7,2 – 8,5 (Clare, 2002).

Menurut Clare (2002) *Daphnia magna* diketahui sangat sensitif terhadap ion – ion logam dan bahan beracun terlarut lain seperti pestisida, pemutih dan detergen. Kandungan logam dalam air seperti Cu dan Zn juga dapat memberikan gangguan pada *Daphnia* seperti menghambat pergerakannya untuk berenang yang pada akhirnya menyebabkan kematian. *Daphnia magna* juga memiliki toleransi hidup di daerah dengan kualitas air yang rendah dengan tingkat oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) dari nol mg/L hingga saturasi maksimum. Dalam kondisi dengan kadar oksigen terlalu rendah, *Daphnia magna* akan membentuk hemoglobin untuk membantu pendistribusian oksigen dalam tubuh (Ebert, 2005). *Daphnia magna* merupakan *filter feeder* yang mampu menyaring air untuk mendapatkan makanan yang berupa makhluk bersel tunggal seperti alga dan berbagai dendritus organik termasuk protista dan bakteri. *Daphnia magna* juga membutuhkan vitamin dan mineral dalam air. Mineral yang harus ada dalam air adalah kalsium. Unsur ini sangat diperlukan untuk menjaga homeostatis sel dalam tubuh (Komjarova, I., 2009).

2.5 Logam Berat dan Sedimen

Logam berat adalah unsur-unsur yang mempunyai daya hantar panas dan daya hantar listrik yang tinggi serta mempunyai densitas lebih dari 5 (Hutagalung, 1991). Logam berat biasanya bernomor atom 22-29 dan periode 3 sampai 7 dalam susunan berkala unsur-unsur kimia. Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria - kriteria yang sama dengan logam-logam yang lain. Perbedaan terletak pada dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini masuk atau

diberikan ke dalam tubuh organisme hidup (A Langmore, 1998). Logam berat adalah unsur alami dari kerak bumi. Logam yang stabil dan tidak bisa rusak atau hancur, oleh karena itu mereka cenderung menumpuk dalam tanah dan sedimen. (Ernawati, 2010). Sebagian dari logam berat tersebut memang dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup dalam jumlah tertentu (sedikit) apabila tidak terpenuhi akan berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari makhluk hidup tersebut maka logam ini dinamakan logam esensial seperti Cr, Cu, Zn, dan Ni (Sudarwin, 2008). Sedangkan logam nonesensial seperti Hg, Pb, Cd, dan As sama sekali belum diketahui kegunaannya walaupun dalam jumlah relative sedikit dapat menyebabkan keracunan pada hewan. (Darmono, 1995).

Sedimen yang berukuran halus terdapat di lingkungan perairan yang relatif tenang seperti perairan teluk dan estuari. Pada perairan ini terjadi deposisi material tersuspensi (organik dan inorganik) karena sifat fisik kimia material tersuspensi yang memiliki kemampuan mengadsorpsi logam berat terlarut dalam kolom air, maka deposisi padatan tersuspensi dalam suatu perairan akan menyebabkan akumulasi logam berat tersebut selain material organik dan inorganik dalam sedimen. Makin tinggi kandungan polutan organik dan inorganik dalam kolom air, maka makin tinggi pula akumulasi polutan tersebut dalam sedimen dan dapat mempengaruhi organisme yang ada di dalam ekosistem tersebut. Oleh karena itu kualitas fisik kimia sedimen suatu perairan dapat dijadikan indikator baik buruknya kualitas suatu perairan.

Proses *leaching* pada sedimen dapat mengurangi kepekatan pencemar dalam sedimen dan tanah, namun dapat meningkatkan pencemaran di badan air. Dalam proses *leaching*, pencemar sedimen dapat bersifat polar (mudah bercampur dengan air) sehingga lebih mudah bergerak dalam tanah/sedimen, non polar (tidak mudah bercampur dengan air seperti minyak/zat hidrokarbon) sehingga sifat mobilitasnya rendah atau teradsorpsi kuat pada sedimen dan tanah sehingga dapat terendapkan pada permukaan sedimen serta dapat pula terbebaskan (*leaching*) kembali ke lingkungan (Lestari, 2008).

2.6 Logam Berat dalam perairan

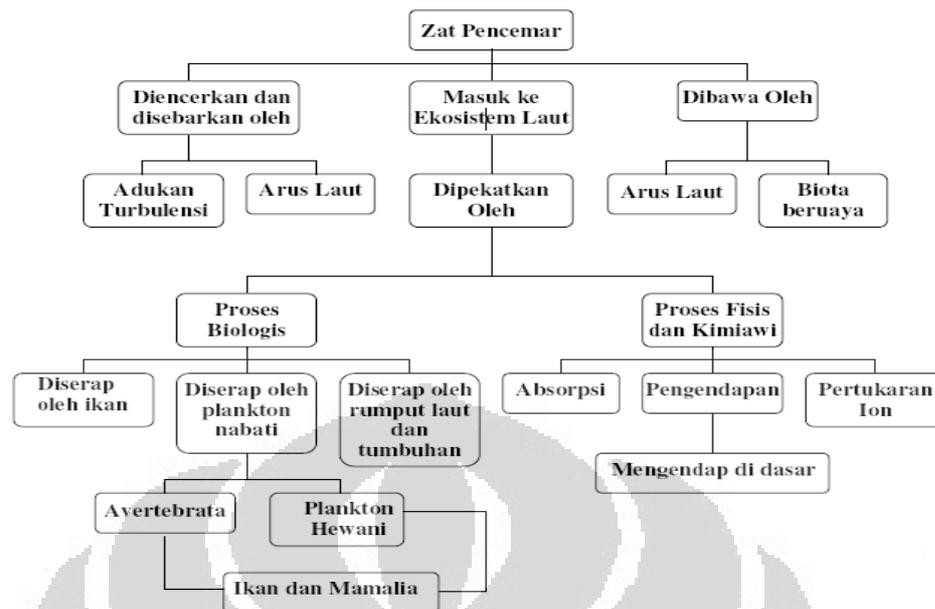
Keberadaan logam dalam perairan terutama muara dapat berasal dari sumber alamiah dan aktifitas manusia. Masuknya logam berat kedalam muara secara alamiah dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Pasokan dari daerah hulu sungai karena erosi yang disebabkan oleh gerakan gelombang air.
2. Pasokan dari laut dalam yang meliputi logam yang dilepaskan gunung berapi di laut dalam dan dari partikel atau endapan oleh adanya proses kimiawi.
3. Pasokan yang berasal dari lingkungan dekat muara dan meliputi logam yang diangkat kedalam atmosfer sebagai partikel debu.

Sedangkan keberadaan logam-logam berat dalam muara yang disebabkan oleh aktifitas manusia dapat berasal dari:

1. Buangan rumah tangga.
2. Buangan sisa industri yang tidak terkontrol, dimana logam berat ini mengalir ke sungai dan akhirnya sampai di muara dan mengendap jadi sedimen.
3. Lumpur minyak yang kadang-kadang juga mengandung logam berat dengan konsentrasi yang tinggi yang terbuang sampai ke muara dan mengendap jadi sedimen.

Bila bahan cemaran masuk ke lingkungan laut, maka bahan cemaran ini akan mengalami tiga macam proses akumulasi (Hutagalung, 1991) yaitu proses fisik, kimia dan biologis.



Gambar 2.3 Proses yang terjadi bila logam berat masuk ke lingkungan laut (EPA, 1973 dalam Hutagalung, 1991)

Dalam perairan, logam-logam ditemukan dalam bentuk (Hamidah, 1980):

1. Terlarut, yaitu ion logam bebas dan logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik.
2. Tidak terlarut, terdiri dari partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kompleks metal yang teradsorpsi pada zat tersuspensi.

Menurut Bryan (1984), beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan racun logam berat terhadap ikan dan organisme lain adalah:

- Bentuk ikatan kimia dari logam yang terlarut dalam air
- Pengaruh interaksi antara logam dan jenis racun lainnya
- Pengaruh lingkungan seperti temperatur, kadar logam, pH dan kadar oksigen dalam air
- Kondisi hewan, fase siklus hidup, besarnya organisme, jenis kelamin dan kecukupan kebutuhan nutrisi
- Kemampuan hewan untuk menghindari dari kondisi buruk
- Kemampuan hewan untuk beradaptasi terhadap racun misalnya detoksifikasi

Sedangkan kadar logam berat itu sendiri juga ditentukan oleh sifat interaksinya yaitu: aditif, sinergistik dan antagonistik. Toksisitas meningkat apabila interaksinya bersifat sinergistik dan aditif. Sebaliknya toksisitas mengalami reduksi apabila interaksinya bersifat antagonistik

2.6.1 Timbal (Pb)

Pb termasuk ke dalam kelompok logam golongan IV-A Pada tabel periodik unsur kimia memiliki berat atom sebesar 207,2 dan nomor atom 82. Pb adalah sebuah unsur yang biasanya ditemukan di dalam batu - batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Melalui proses geologi, Pb terkonsentrasi dalam deposit seperti bijih logam. Persenyawaan bijih logam timbal ditemukan dalam bentuk galena (PbS), anglesit ($PbSO_4$) dan dalam bentuk minim (Pb_3O_4). Boleh dikatakan bahwa timbal tidak pernah ditemukan dalam bentuk logam murninya (Palar, 2008).

Pb 95% bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk garam anorganik yang umumnya kurang larut dalam air. Selebihnya berbentuk timbal organik. Waktu keberadaan timbal dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus angin dan curah hujan. Timbal dalam lingkungan diabsorpsi secara kuat ke dalam sedimen dan partikel tanah yang mengurangi bioavailabilitasnya terhadap organisme (IPCS, 1999). Dalam model ekosistem perairan, serapan oleh produsen dan konsumen primer ditentukan oleh bioavailabilitas timbal. Bioavailabilitas timbal lebih rendah ketika material organik, sedimen, partikel mineral hadir. Konsumen mendapat pemasukan timbal dari kontaminasi makanan. Serapan dan akumulasi timbal oleh organisme perairan dari air dan sedimen dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti temperatur, salinitas, dan pH.

Secara alamiah, Pb dapat masuk ke dalam perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Di samping itu, proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin, juga merupakan salah satu jalur masuk sumber Pb yang akan masuk ke dalam badan perairan. Pb yang masuk ke dalam badan perairan sebagai dampak dari aktivitas kehidupan manusia ada bermacam bentuk. Diantaranya adalah air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan

buangan sisa industri baterai. Buangan – buangan tersebut akan jatuh pada jalur – jalur perairan seperti anak sungai untuk kemudian dibawa terus menuju lautan yang dapat merusak tata lingkungan perairan. Badan perairan yang telah kemasukan senyawa atau ion – ion Pb, sehingga jumlah Pb dalam badan perairan melebihi konsentrasi yang semestinya dapat mengakibatkan kematian pada biota perairan tersebut., diketahui bahwa biota – biota perairan seperti *Crustaceae* akan mengalami kematian setelah 245 jam, bila pada badan perairan di mana biota itu berada terlarut pada konsentrasi 2,75 – 49 mg/L. (Murphy, 1979). Pada organisme air kadar maksimum Pb yang aman dalam air adalah sebesar 50 ppb (EPA, 1973 in Hutagalung 1984).

2.6.2 Cadmium (Cd)

Cadmium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cd dan nomor atom 48. Cd merupakan bahan alami yang terdapat dalam kerak bumi. Cd murni berupa logam berwarna putih perak dan lunak, namun bentuk ini tak lazim ditemukan di lingkungan. Umumnya cadmium terdapat dalam kombinasi dengan elemen lain seperti Oksigen (*Cadmium Oxide*), Chlorine (*Cadmium Chloride*) atau belerang (*Cadmium Sulfide*). Kebanyakan Cd merupakan produk samping dari pengecoran seng, timah atau tembaga. Cadmium yang banyak digunakan dalam industri metalurgi, pelapisan logam, pigmen, baterai, peralatan elektrolit, pelumas, peralatan fotografi, gelas, keramik, tekstil, dan plastik (Eckenfelder, 1989). Cd didapat pada limbah berbagai jenis pertambangan logam yang tercampur Cd seperti Pb, dan Zn. Dengan demikian, Cd dapat ditemukan di dalam perairan baik di dalam sedimen maupun di dalam penyediaan air minum.

Cd dijumpai sebagai mineral sulfide bersama – sama dengan Zn dan Pb. Di perairan Cd dijumpai hampir 90% dalam bentuk terlarut (Hart dan Davis, 1981 dalam Syahminan, 1996). Hanya sebagian yang terabsorpsi oleh padatan tersuspensi atau partikel. Logam ini mudah membentuk senyawa kompleks ion halida Cl^- , Br^- dan I^- (Cotton dan Wilkinson, 1996 dalam Syahminan, 1996). Pada pH yang tinggi kadmium mengalami presipitasi atau pengendapan (Effendi, 2003). Berdasarkan hasil penelitian kadar Cd di perairan tercemar berkisar antara 0,2 –

0,5 ppb. Sedangkan pada perairan tidak tercemar 0,01 – 0,1 ppb (Benhard, 1973 dalam Sanusi, 1983). Cd diubah oleh aktivitas mikroorganisme menjadi senyawa organik yang lebih beracun. Logam Cd dalam tubuh organisme sebagian besar terakumulasi dalam ginjal dan hati dalam bentuk metallothionin. Dalam perairan, kelarutan Cd dalam konsentrasi tertentu dapat membunuh biota perairan. Biota – biota yang tergolong *crustaceae* akan mengalami kematian dalam selang waktu 24 – 504 jam bila dalam badan perairan di mana biota ini hidup terlarut logam atau persenyawaan Cd pada rentang konsentrasi 0,005 – 0,15 ppm. (Murphy P.M., 1974).

Nilai LC₅₀ kadmium terhadap *Daphnia magna* adalah 0,005 mg/L dan terhadap *Gammarus pulex* 0,7 mg/L (Effendi, 2003). Toksisitas kadmium dipengaruhi oleh pH dan kesadahan. Pada pH yang tinggi kadmium dapat mengalami pengendapan. Selain itu keberadaan timbal dan seng dapat meningkatkan toksisitas kadmium.

2.6.3 Chromium (Cr)

Chromium merupakan unsur logam berat dengan nomor atom 24 dan memiliki berat atom sebesar 51,996. logam Cr murni tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur – unsur lain. Sebagai bahan mineral, Cr paling banyak ditemukan dalam bentuk chromite ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$). Berdasarkan pada sifat – sifat kimianya, logam Cr dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi 2+, 3+ dan 6+. Sesuai dengan tingkat valensi yang dimilikinya, logam atau ion – ion chromium yang telah membentuk senyawa, mempunyai sifat – sifat yang berbeda – beda sesuai dengan tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{2+} akan bersifat basa., senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{3+} bersifat amfoter dan senyawa yang terbentuk dari ion Cr^{6+} akan bersifat asam.

Cr telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan manusia. Logam ini banyak digunakan sebagai bahan pelapis pada bermacam-macam peralatan, mulai dari peralatan rumah tangga sampai mobil. Logam Cr dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, apakah itu pada strata perairan, tanah atau pun udara (lapisan atmosfer). Sumber masukan logam Cr ke dalam strata lingkungan diduga

paling banyak adalah dari kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilisasi bahan – bahan bakar.

Dalam badan perairan Cr dapat masuk melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Masuknya Cr secara alamiah dapat terjadi disebabkan oleh beberapa faktor fisika, seperti erosi yang terjadi pada batuan mineral. Di samping itu debu – debu dan partikel - partikel Cr yang di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Masukan Cr yang terjadi secara non alamiah lebih merupakan dampak atau efek dari aktivitas yang dilakukan manusia. Sumber – sumber Cr yang berkaitan dengan aktivitas manusia dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga.

Dalam badan perairan, terjadi bermacam – macam proses kimia, mulai dari pengompleksan sampai pada reaksi redoks. Proses kimia tersebut juga terjadi pada logam Cr yang ada di perairan. Proses kimia seperti pengompleksan dan sistem reaksi redoks, dapat mengakibatkan terjadinya pengendapan dan atau sedimentasi logam Cr di dasar perairan. Proses – proses kimiawi yang berlangsung dalam badan perairan juga dapat mengakibatkan terjadinya peristiwa reduksi dari senyawa – senyawa Cr^{6+} yang sangat beracun menjadi Cr^{3+} , dapat berlangsung bila badan perairan berada dan atau mempunyai lingkungan yang bersifat asam. Untuk perairan yang berlingkungan basa, ion – ion Cr^{3+} akan diendapkan di dasar perairan.

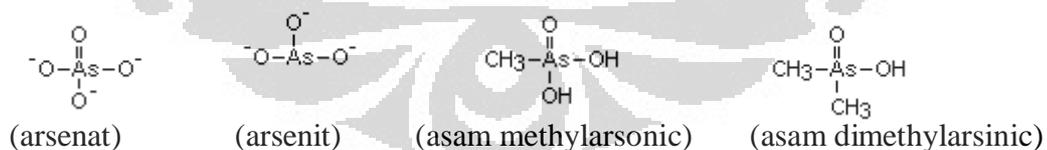
Toksisitas unsur Cr terhadap organisme perairan tergantung pada bentuk chromium, bilangan oksidasinya, dan pH (Hutagalung, 1991). Penurunan pH dan kenaikan suhu dapat meningkatkan toksisitas Cr^{6+} terhadap organisme air. Toksisitas Cr^{6+} lebih besar daripada toksisitas Cr^{3+} . Kadar kromium pada perairan tawar biasanya kurang dari 0,001 mg/L dan pada perairan laut sekitar 0,00005 mg/L. Kromium trivalen biasanya tidak ditemukan pada perairan tawar sedangkan pada perairan laut sekitar 50% kromium merupakan kromium trivalen (McNeely *et al.*, 1979 *in* Effendi, 2003). Kadar kromium yang diperkirakan aman bagi kehidupan akuatik adalah sekitar 0,05 mg/l (Moore, 1991 *in* Effendi, 2003). Kadar kromium 0,1 mg/l dianggap berbahaya bagi kehidupan organisme laut (Effendi, 2003).

2.6.4 Arsen (As)

Arsen masuk kedalam golongan VA dengan nomor atom 33 dan massa atom sebesar 74.92. As murni berwarna perak keabu-abuan atau berwarna metalik. Mempunyai titik lebur 817°C dan titik didih 613°C, tidak berbau, secara alami selalu dikombinasikan dengan satu atau lebih unsur-unsur lainnya seperti belerang (S) dan khlor (Cl).

Arsen adalah metaloid yang tersebar secara luas di kerak bumi dan keberadaannya di alam secara alami sekitar 2 mg/kg. Arsen muncul dalam jumlah yang jarang di semua batuan, tanah, air dan udara. Arsen berada pada 4 keadaan valensi: -3, 0, +3, dan +5. Di bawah kondisi tereduksi arsenit (As(III)) merupakan bentuk dominan, arsenat (As(V)) umumnya stabil dalam lingkungan yang teroksidasi. Unsur arsen tidak larut air. Garam arsen memiliki rentang kelarutan yang bergantung pada pH dan lingkungan ionic (IPCS, 2001).

Arsen terkandung di lebih dari 200 spesies mineral dan yang paling banyak ditemukan adalah arsenopyrite. Aksi vulkanik merupakan sumber arsenik yang berasal dari alam. Pertambangan, peleburan logam non-ferrous dan pembakaran bahan bakar fosil adalah proses industri utama yang berkontribusi terhadap kontaminasi arsen secara antropogenik dari udara, air dan tanah. Secara historis, penggunaan pestisida yang mengandung arsen telah mengkontaminasi lahan pertanian. Bentuk arsenik terlarut dalam kolom air termasuk arsenat, arsenit, asam monomethylarsonic (MMA) dan asam dimethylarsinic (DMA) (Braman & Foreback, 1973).



Biota aquatik menunjukkan perbedaan sensitivitas yang terhadap arsen dengan valensi yang berbeda. Secara umum, arsen anorganik lebih toksik dari arsen organik dan arsen trivalen lebih toksik dibanding arsen pentavalen. Beberapa sistem organ yang dipengaruhi oleh arsen termasuk kulit, pernapasan, jantung, sistem kekebalan, reproduksi, gastrointestinal dan system saraf. Mekanisme toksisitas arsenit berdasarkan pada ikatannya dengan gugus protein sulfurhidril. Arsenat diketahui berpengaruh terhadap proses *oxydative*

phosphorylation dan berkompetisi dengan fosfat, jika konsentrasi fosfat di lingkungan tinggi maka toksisitas arsenat pada biota berkurang (IPCS, 2001).

2.6.5 Nikel (Ni)

Nikel merupakan logam dengan nomor atom 28 dan massa atom 58,69, dalam Sistem Periodik Unsur terletak pada periode 4, golongan VIII B. Ni adalah logam putih perak yang keras, bersifat liat, dapat ditempa dan sangat kukuh. Nikel memiliki massa jenis $8,90 \text{ g/cm}^3$, titik leleh 1555°C , dan titik didih 2837°C . Nikel membentuk kompleks yang tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut organik. Nikel karbonat, nikel sulfida, dan nikel oksida tidak larut dalam air, sedangkan nikel klorida, nikel sulfat, dan nikel nitrat larut dalam air. Bentuk umum nikel adalah ion nikel (II) yang sangat stabil dan memiliki peran penting dalam analisis *trace metal*. Dalam sistem biologi, nikel terlarut dapat membentuk komponen kompleks dengan berbagai ligan dan berikatan dengan bahan organik.

Nikel adalah suatu *trace metal* dan ditemukan di tanah, air, udara dan dalam biosfer. Kandungan rata – rata nikel di kerak bumi sekitar 0.008%. Di perairan alami, nikel ditemukan berkisar dari 2 sampai 10 mg / liter pada air tawar dan 0,2-0,7 mg / liter pada air laut. Cadangan bijih nikel adalah akumulasi mineral nikel sulfida (kebanyakan pentlandit) dan laterit. Sebagian besar dari nikel yang digunakan untuk produksi *stainless steel*. Paduan Nikel dan nikel platings digunakan di kendaraan, mesin pengolahan, persenjataan, peralatan listrik, peralatan rumah tangga, dan mata uang. Senyawa nikel juga digunakan sebagai katalis, pigmen, dan dalam baterai.

Nikel muncul dalam sistem perairan sebagai garam terlarut yang teradsorpsi pada partikel tanah liat atau material organik (dedritus, alga, dan bakteri) atau berhubungan dengan partikel organik seperti asam humat dan asam fulvat. Nikel dapat masuk ke permukaan air dari tiga sumber alam (Boyle, 1981) yaitu sebagai partikel dalam air hujan, melalui erosi dari batuan mineral, dan dari tanah.

Di perairan alami, pada kisaran pH 5-9, ion divalen Ni^{2+} ($\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$) adalah bentuk dominan. Dalam rentang pH ini. Nikel juga dapat teradsorpsi pada besi dan mangan oksida, atau membentuk kompleks dengan ligan anorganik (OH^- ,

SO₄²⁻, Cl⁻ or NH₃) (Richter & Theiss, 1980). Sebagian besar kelompok organisme akuatik termasuk beberapa spesies yang mampu mengakumulasi nikel (Jenkins, 1980a). Tingkat tertinggi nikel yang ditemukan di organisme perairan dekat dengan sumber polusi, khususnya pelepasan nikel.

Nilai toksisitas pada invertebrata air bervariasi menurut spesies dan faktor abiotik. 96-h LC₅₀ nikel terhadap *Daphnia sp* adalah 0,5 mg/L sedangkan pada moluska 96-h LC₅₀ nikel sebesar 0,2 mg/L pada dua jenis siput air tawar dan 1100 mg/L pada kerang – kerangan (IPCS, 1999).

2.7 Efek Toksik Logam Pada Biota

Menurut ISO (1982), Efek toksik suatu substansi dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Efek Akut

Efek dari substansi yang dapat menyebabkan kematian secara langsung dari suatu spesies. Pengaruh efek akut dapat diukur secara mudah melalui pengamatan keberhasilan hidup dalam suatu populasi. Toksisitas akut terjadi pada dosis tinggi, waktu paparan pendek dengan efek parah dan mendadak, serta mengenai organ absorpsi dan ekskresi.

2. Efek kronis

Konsentrasi terendah dari suatu toksikan yang diintroduksi dalam periode waktu yang lama dan dapat menjadi lebih membahayakan lingkungan karena perubahan dalam ekosistem sangat lambat dan tidak mudah terdeteksi (memerlukan waktu yang lama).

Istilah – istilah yang sering digunakan dalam pengujian toksisitas diantaranya:

- a. *Lethal concentration* (LC) yaitu perkiraan konsentrasi toksikan yang menyebabkan kematian sejumlah tertentu organisme uji. Biasanya didefinisikan sebagai nilai tengah (50%) konsentrasi lethal atau nilai LC₅₀, contohnya LC₅₀ 48 jam berarti konsentrasi yang mematikan 50% organisme yang diujikan selama 48 jam.
- b. *Effective concentration* (EC), yaitu perkiraan konsentrasi toksikan yang menimbulkan efek spesifik tertentu pada sejumlah organisme uji. Efek tersebut biasanya bersifat sublethal seperti terjadinya perubahan laju pernafasan atau kehilangan keseimbangan.

- c. *Inhibiting concentration* (IC), yaitu perkiraan konsentrasi toksikan yang menyebabkan konsentrasi penghambatan khusus atau pengrusakan terhadap sejumlah fungsi biologis, contohnya IC₂₅ berarti konsentrasi yang diperkirakan mereduksi 25% pertumbuhan larva ikan.
- d. *Safe concentration* (SC), yaitu konsentrasi suatu senyawa kimia yang tidak memberikan pengaruh negatif atau berbahaya setelah periode pengujian sekurang – kurangnya satu generasi. Nilai SC ini digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan suatu baku mutu kualitas air terhadap senyawa tersebut.

2.8 Atomic Absorbance Spectroscopy (AAS)

AAS adalah suatu metode analisa untuk penentuan kadar unsur - unsur logam dan metaloid berdasarkan pada penyerapan (absorbansi) radiasi oleh atom bebas dari unsur tersebut (Miller, D.D dan Rutzke, M.A.,2003). Suatu contoh atau sampel dapat diukur kandungannya, apabila dalam logam – logam tersebut telah dibebaskan bahan organiknya. Pembebasan logam dari bahan organik dilakukan dengan destruksi. Atomisasi suatu unsur dalam sampel dapat dilakukan dengan sistem nyala (*flame*) dan tanpa nyala (*flameless*). Logam – logam yang cocok diukur dengan sistem nyala antara lain K, Na, Ca, Mg, Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Fe. Atomisasi *flame* menggunakan gas bakar asetilen-udara ataupun nitrous oksida – udara. Atomisasi tanpa nyala dapat menggunakan *Hydride Vapour Generator* (HVG) yang digunakan untuk pengukuran arsen ataupun raksa. (Miller, D.D dan Rutzke, M.A.,2003; Greenberg, A.E., et.al, 1992).

Prinsip kerja AAS secara singkat dijelaskan sebagai berikut: sumber radiasi spesifik yang dihasilkan oleh lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp*) diteruskan ke pembagi. Sinar bagi digunakan sebagai referensi, dan sinar lurus diteruskan ke atom – atom contoh. Sinar yang telah melewati atom – atom contoh masuk ke dalam monokromator. Sinar monokromatis yang dihasilkan ditangkap oleh detektor, diamplifikasi, diolah dan dicatat oleh recorder secara komputerisasi. Hasil bacaan berupa absorbansi selanjutnya ditetapkan melalui sistem ini (Miller, D.D dan Rutzke, M.A.,2003).

Aspek kuantitatif dari metode spektrofotometri diterangkan oleh hukum Lambert-Beer, yaitu:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \text{ atau } A = a \cdot b \cdot c$$

Dimana :

A = Absorbansi

ϵ = Absorptivitas molar (mol/L)

a = Absorptivitas (gr/L)

b = Tebal nyala (nm)

c = Konsentrasi (ppm)

Absorpsivitas molar (ϵ) dan absorpsivitas (a) adalah suatu konstanta dan nilainya spesifik untuk jenis zat dan panjang gelombang tertentu, sedangkan tebal media (sel) dalam prakteknya tetap. Dengan demikian absorbansi suatu spesies akan merupakan fungsi linier dari konsentrasi, sehingga dengan mengukur absorbansi suatu spesies konsentrasinya dapat ditentukan dengan membandingkannya dengan konsentrasi larutan standar.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel sedimen terletak di perairan Teluk Jakarta, Jakarta utara sedangkan lokasi preparasi sampel dan pelaksanaan uji toksisitas akut dilaksanakan di Laboratorium Biokimia Departemen Kimia FMIPA UI. Untuk analisis AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Departemen Kimia FMIPA UI.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat uji yang digunakan untuk karakterisasi pada penelitian ini: Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merk shimadzu AA-6300.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- *Peterson Grab sampler*
- termometer
- DO-meter
- pH-meter *portable*
- refraktometer
- alat pengukur GPS
- *hot plate*
- oven
- tabung sentrifuge
- *cooler box + dry ice*
- indikator pH universal
- sendok plastik
- cawan
- mortar dan alu
- botol semprot
- plastik *polypropilen*
- timbangan analitik
- *spatula*

Peralatan Gelas:

- gelas ukur 100 mL; 25 mL; 10 mL
- pipet volumetri 1,0 mL; 2,0 mL; 3,0 mL; 4,0 mL; 5,0 mL; dan 10 mL
- gelas piala 250 mL; 100 mL; 50 mL
- corong
- kaca arloji
- batang pengaduk
- botol gelas atau polietilen bertutup

- labu ukur 1000 mL; 250 mL, 100 mL; 50 mL; 25 mL
- pipet tetes
- preparat kaca
- botol vial 50 mL

3.2.2 Bahan

3.2.2.1 Bahan kimia

- | | |
|--|--|
| - Larutan induk Pb 1000 µg/mL | - Na ₂ H ₂ AsO ₄ ·7H ₂ O |
| - Larutan induk Cd 1000 µg/mL | - HNO ₃ p.a (65%) |
| - Larutan induk Ni 1000 µg/mL | - HCl p.a (37%) |
| - Larutan induk Cr 1000 µg/mL | - (CH ₃ CO) ₂ O p.a (99%) |
| - Larutan induk As 1000 µg/mL | - NaOH 1 N |
| - Pb(NO ₃) ₂ | - NaOH 0,5 N |
| - 3CdSO ₄ ·8H ₂ O | - HCl 0,5 N |
| - Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O | - NaOH (s) |
| - CaCl ₂ ·2H ₂ O | - KCl |
| - MgSO ₄ ·7H ₂ O | - NaBH ₄ |
| - NiSO ₄ ·6H ₂ O | |

3.2.2.2 Bahan biologik

Daphnia magna (Crustaceae) yang diperoleh dari Bubulak, Bogor

3.2.2.3 Sampel

Sedimen dari perairan Teluk Jakarta

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel dilakukan pada hari sabtu, 11 Februari 2012 mulai pukul 10.00 sampai selesai kira – kira pukul 12.00 pada tiga titik di perairan Teluk Jakarta yaitu di muara angke, muara pantai indah kapuk dan muara kamal.

Cuaca cerah saat pengambilan sampel, berangin namun tidak bergelombang tinggi. Sampel sedimen di dasar perairan dengan kedalaman 1 - 4 m di tiga muara

diambil dengan menggunakan *Peterson Grab sampler*, kemudian sampel diambil dengan menggunakan sendok plastik lalu dimasukkan dalam plastik *polypropilen* dan disimpan dalam *ice box* dengan suhu 4°C hingga di laboratorium.

Selain pengambilan sampel sedimen, juga dilakukan pengukuran kualitas air terhadap parameter temperatur, pH dan salinitas. Temperatur diukur dengan menggunakan termometer raksa, pH diukur dengan indikator pH universal dan salinitas diukur dengan refraktometer. Sebagai data pendukung, dilakukan pengumpulan data mengenai koordinat lokasi menggunakan GPS, waktu pengambilan sampel, cuaca pada saat sampling, dan warna sedimen.

3.3.2 Persiapan dan Pengawetan Sampel Uji

- Sampel uji yang telah diambil sesuai metode sedimen sampling USEPA-600 dipisahkan dari benda – benda asing.
- Dioven pada suhu 104°C sampai kering dan digerus sampai homogen.
- Sampel uji disimpan dalam plastik *polypropilen* dan didinginkan/disimpan dalam coolbox pada suhu 4°C .

3.3.3 Preparasi Pengujian

3.3.3.1 Pembuatan larutan HNO_3 1,0 N

- Sebanyak 68,75 mL larutan HNO_3 pekat dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL yang berisi 250 mL akuademin.
- Larutan ditepatkan hingga 1000 mL dan dikocok sampai homogen.

3.3.3.2 Pembuatan larutan standar logam berat (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} , As^{5+})

Larutan baku logam berat (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} , As^{5+}) $1000\ \mu\text{g/mL}$ diencerkan dalam labu ukur menjadi 1, 10, dan $100\ \mu\text{g/mL}$ dengan menggunakan HNO_3 1,0 N. Pembuatan larutan standar ini menggunakan prinsip pengenceran dari larutan baku masing – masing logam berat.

3.3.4 Penentuan LOD dan LOQ

Untuk menentukan LOD (*Limit of Detection*) dan LOQ (*Limit of Quantification*) dilakukan pembuatan kurva kalibrasi dari larutan standar logam berat terlebih dahulu.

(i) Kurva Kalibrasi

- Kurva kalibrasi dicari dengan mengukur berbagai konsentrasi larutan standar logam yang akan dianalisa dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang optimal sesuai dengan larutan standar yang diukur.
- Kurva kalibrasi dibuat dengan mengalurkan antara konsentrasi dengan absorbansi yang diperoleh dan ditentukan persamaan garisnya. Linearitas kurva kalibrasi harus $(r^2) > 0,99$.

(ii) Limit Deteksi (LOD) dan Limit Kuantifikasi (LOQ)

Limit deteksi dilakukan dengan mengukur berbagai konsentrasi larutan standar masing – masing logam sampai konsentrasi terkecil dimana alat tidak mampu mendeteksi serapan lagi. Perhitungan limit deteksi dan limit kuantifikasi dilakukan dengan cara statistik melalui perhitungan selisih absorbansi yang terukur alat dan absorbansi yang didapat kurva kalibrasi pada konsentrasi yang sama.

3.3.5 Penentuan kadar logam berat Pb, Cd, Cr, Ni, dan As secara total (ISO 11466 Method)

- Sebanyak ± 1 gram sedimen kering ditimbang dalam beaker gelas 250 mL.
- Ditambahkan 24 mL *aquaregia* (HCl : HNO₃ = 3 : 1) ke dalam beaker gelas
- Campuran didiamkan selama 24 jam.
- Campuran dipanaskan dengan menggunakan *hotplate* pada suhu 130⁰C selama ± 1 jam.
- Setelah 24 jam, campuran didinginkan pada suhu ruang.
- Filtrat didekantasi dan diterakan dengan HNO₃ 1 N dalam labu ukur 50 mL.
- Filtrat hasil destruksi dianalisis dengan menggunakan AAS.

3.3.6 Penentuan kadar logam berat dengan ekstraksi

Method 1311: US EPA TCLP Prosedure

Pembuatan fraksi asam pH 3

- Sebanyak 5,7 mL asam asetat glasial dilarutkan dengan akuademin sampai volum 1 liter.

Pembuatan fraksi asam pH 5

- Sebanyak 5,7 mL asam asetat glasial dilarutkan kedalam 500 ml akuademin
- Ditambahkan 64,3 mL NaOH 1N dan diencerkan sampai volum 1 liter.

Penentuan kadar logam berat dengan Ekstraksi (Tessier *et. al.*)

- Ditimbang sebanyak ± 1 gram sedimen kering dan dimasukkan ke dalam tabung sentrifuge 15 mL
- Pada fraksi pH 3, ke dalam sedimen kering ditambahkan 5 mL fraksi asam pH 3
- Pada fraksi pH 5, ke dalam sedimen kering ditambahkan 5 mL fraksi asam pH 5
- Pada fraksi pH 7, ke dalam sedimen kering ditambahkan 5 mL akuademin
- Tiap fraksi didiamkan setengah jam dan dikocok selama 30 detik, lalu didiamkan semalam pada suhu kamar.
- Tabung disentrifuge selama 30 menit dengan kecepatan 2000 rpm.
- Filtrat didekantasi dari tabung sentrifuge ke dalam labu ukur 25 mL
- Filtrat diencerkan sampai tanda tera dengan HNO₃ 1N
- Filtrat dianalisis dengan AAS

3.3.7 Uji Toksisitas Akut Pada *Daphnia Magna*

3.3.7.1 Pengkulturan *Daphnia magna*

Pengkulturan *Daphnia magna* dilakukan di Laboratorium Biokimia – Kimia UI. Tujuannya adalah untuk mengadaptasi *Daphnia* terhadap lingkungan di laboratorium dan untuk memperoleh *Daphnia* dewasa yang siap menghasilkan *neonate*. Medium pengkulturan yang digunakan adalah air tanah. Pengkulturan *Daphnia magna* dilakukan dalam akuarium. Umur *Daphnia* yang digunakan sebagai organisme uji ± 1 hari. Pembuatan medium nutrisi dilakukan menurut

OECD *Test Guidelines* 202 (OECD, 2004) dengan komposisi 0,096 g NaHCO₃, 0,06 g CaCl₂.2H₂O, 0,06 g MgSO₄.7H₂O, 0,004 g KCl.

3.3.7.2 Validitas Test

Agar tes ini valid, maka kriteria yang harus dipenuhi adalah:

1. Jumlah *Daphnia* yang terimmobilisasi dalam kontrol tidak lebih dari 10% dari jumlah total biota dalam kontrol.
2. Konsentrasi oksigen terlarut pada akhir tes harus $\geq 60\%$ kadar oksigen terlarut yang disesuaikan dengan suhu lingkungan.
3. Kadar oksigen terlarut, pH dan temperatur diukur pada awal dan akhir pengujian.
4. Kondisi pencahayaan (fotoperiod) selama test diatur 12 jam terang : 12 jam gelap.

3.3.7.3 Uji Toksisitas Akut Logam Tunggal

i) Optimasi kontrol

- Optimasi kontrol perlu dilakukan sebelum pelaksanaan uji toksisitas akut.
- Optimasi kontrol dilakukan dengan menggunakan 2 botol vial yang masing masing berisi 10 ekor *Daphnia magna* dalam 50 ml medium *freshwater*.
- Hasil optimasi kontrol digunakan untuk menentukan lama waktu uji toksisitas. Setelah optimasi kontrol dilakukan, maka dilanjutkan dengan uji pendahuluan (*range finding test*).

ii) Range Finding Test

- Uji pendahuluan (*Range finding test*) digunakan untuk mengetahui rentang konsentrasi *definitive test* yaitu dengan menentukan konsentrasi pada saat 100% hewan uji (*Daphnia magna*) mengalami immobilisasi setelah terpapar selama 24 jam.
- Sebanyak 10 ekor *Daphnia magna* yang berumur sehari dipindahkan masing – masing ke dalam tiga botol vial.

- Diberikan 50 ml campuran *freshwater* dan sejumlah tertentu larutan logam berat agar konsentrasi dalam campuran menjadi 1 mg/L, 10 mg/L, dan 100 mg/L.
- *Daphnia* tidak diberi makan selama pengujian, tidak diaerasi dan pencahayaan diatur yaitu 12 jam terang dan 12 jam gelap.
- Pengamatan dilakukan setelah 24 jam dengan melihat immobilisasi pada keseluruhan (100%) hewan uji (EC₁₀₀).

iii) *Definitive Test*

- Uji ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi pada saat setengah dari hewan uji (*Daphnia magna*) mengalami immobilisasi setelah terpapar larutan sampel selama 24 jam atau yang biasa disebut sebagai EC₅₀.
- Sebanyak 50 ekor *Daphnia magna* yang berumur sehari dibagi sama rata ke dalam 5 botol vial dimana masing – masing botol vial berisi 10 ekor *Daphnia magna*.
- Diberikan campuran *freshwater* dan larutan logam berat dengan konsentrasi tertentu ke dalam ke empat botol vial.
- Satu botol vial diberikan 50 ml *freshwater* sebagai kontrol.
- *Daphnia* tidak diberi makan selama pengujian, tidak diaerasi dan pencahayaan diatur yaitu 12 jam terang dan 12 jam gelap.
- Pengamatan dilakukan setelah 24 jam dengan melihat immobilisasi pada *Daphnia magna*.
- Pengujian dilakukan duplo.

3.3.7.4 Uji Toksisitas Akut dari Simulasi Fraksi sedimen

- Ditambahkan 20 ml *freshwater* ke dalam beaker glass 50 mL.
- Dimasukkan magnetik bar dan distirer.
- Ditambahkan keempat logam berat Cd, Cr, Ni, dan As ke dalam beaker glass yang berisi *freshwater* dengan menggunakan pipet mikro. Volume kelima garam logam berat yang ditambahkan diperoleh dengan mengacu pada kadar logam berat terendah yang didapat dari hasil pengukuran pada tiap titik sampling.

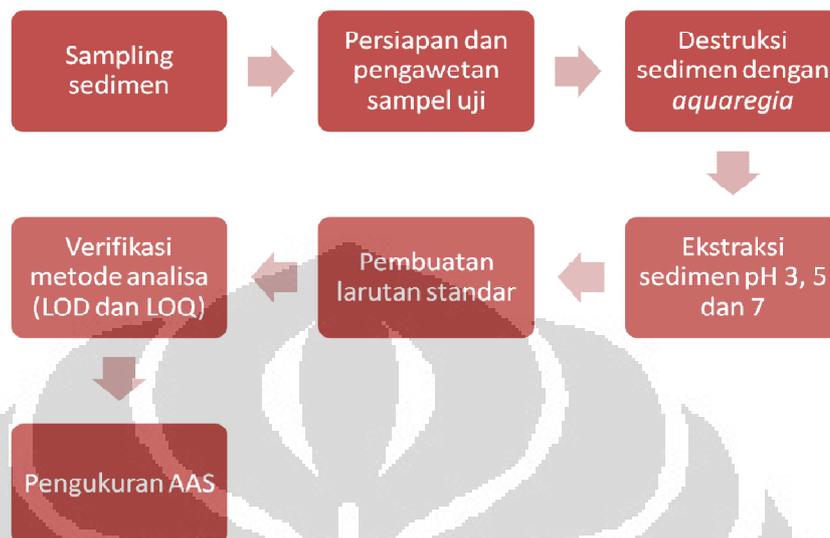
- Dinetralkan pH-nya sampai dengan 7 dengan menggunakan NaOH 0,5 N dan HCl 0,5 N.
- Larutan dipindahkan ke botol vial dan ditambahkan 10 ekor *Daphnia magna* ke dalamnya.
- Larutan diterakan sampai 50 ml dan diujikan selama 24 jam.
- Selama pengujian *Daphnia* tidak diberi makan, tidak diaerasi dan pencahayaan diatur yaitu 12 jam terang dan 12 jam gelap.
- Pengamatan dilakukan setelah 24 jam dengan melihat toksisitasnya terhadap *Daphnia magna*.
- Pengujian dilakukan duplo.

3.3.7.5 Uji Toksisitas Akut Logam Campuran (Cr, Cd, Ni, dan As)

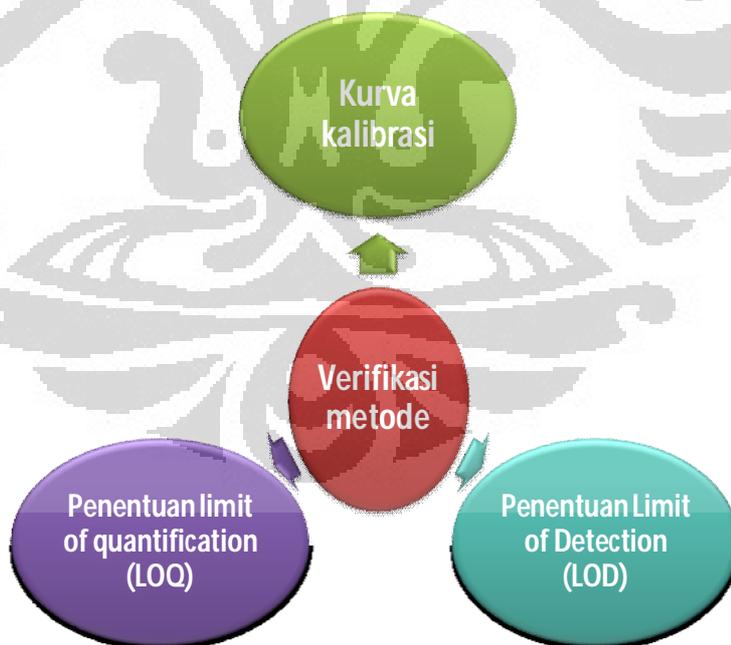
- Ditambahkan 20 ml *freshwater* ke dalam beaker glass 50 mL
- Dimasukkan magnetik bar dan distirer
- Ditambahkan keempat logam berat Cd, Cr, Ni, dan As ke dalam beaker gelas yang berisi *freshwater* dengan menggunakan pipet mikro. Volume keempat logam yang ditambahkan mengacu pada nilai EC_{50-24h} logam paling toksik yang diperoleh dari penelitian ini yaitu Cadmium (Cd)
- Larutan dipindahkan ke botol vial dan ditambahkan 10 ekor *Daphnia magna* ke dalamnya
- Larutan diterakan sampai 50 ml dan diujikan selama 24 jam
- Selama pengujian *Daphnia* tidak diberi makan, tidak diaerasi dan pencahayaan diatur yaitu 12 jam terang dan 12 jam gelap
- Pengamatan dilakukan setelah 24 jam dengan melihat toksisitasnya terhadap *Daphnia magna*
- Pengujian dilakukan duplo

SKEMA ALUR KERJA

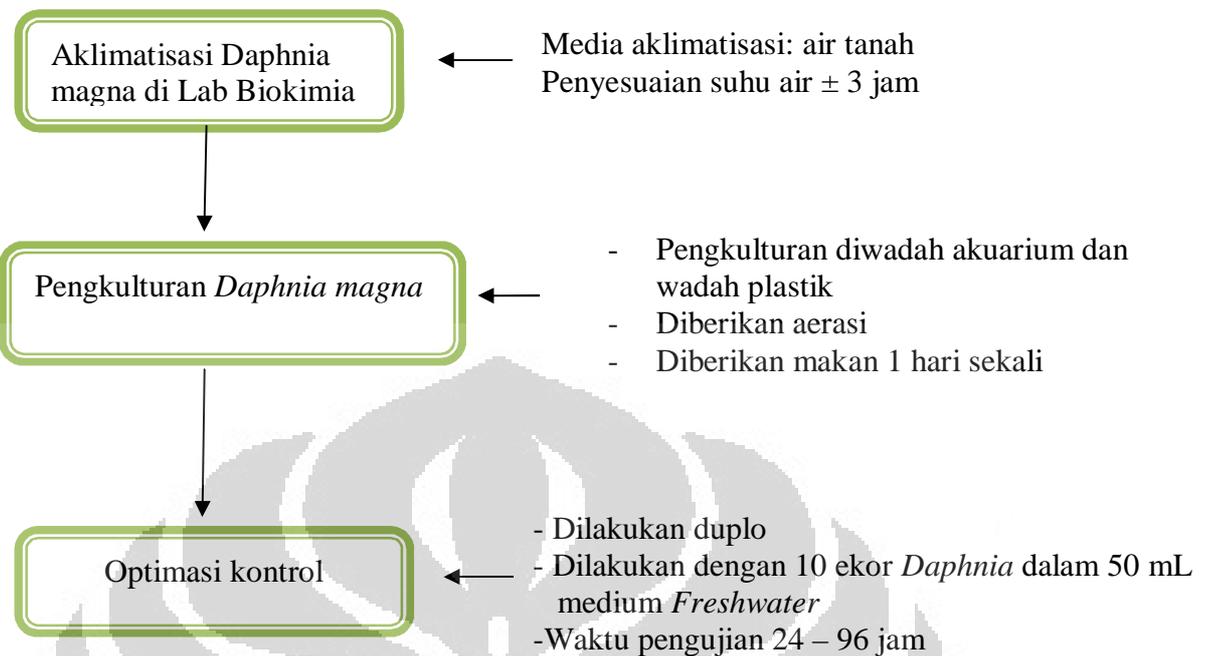
1. Analisis kadar logam berat dalam sedimen dengan parameter perubahan pH



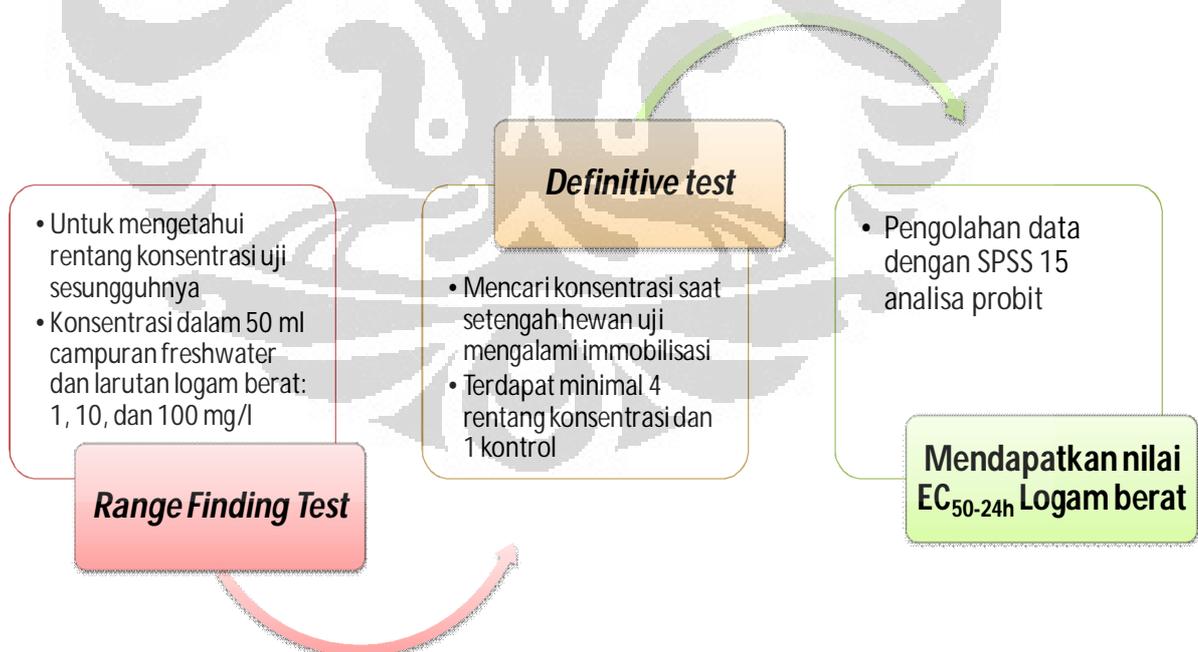
2. Verifikasi metode analisa



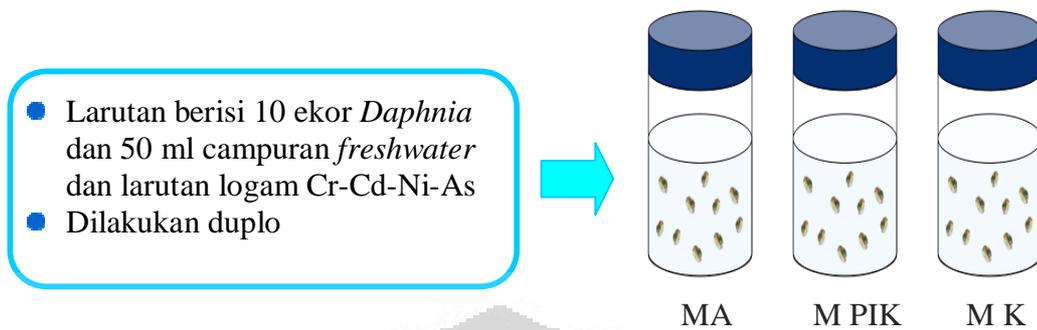
3. Perlakuan sebelum pengujian terhadap *Daphnia magna*



4. Uji toksisitas akut terhadap *Daphnia magna*



5. Uji Toksisitas Akut dari simulasi fraksi sedimen



6. Uji Toksisitas Akut logam campuran

Terdapat 1 botol vial berisi 10 ekor *Daphnia* dan keempat logam dengan mengacu pada nilai EC_{50-24h} Cd

Pengujian dilakukan duplo

Diamati % mortalitas setelah 24 jam



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Toksisitas Akut dengan *Daphnia magna*

Seringkali pengujian secara kimiawi dan fisik belum mencukupi untuk menilai pengaruh bahan pencemar terhadap biota perairan sehingga diperlukan uji toksisitas untuk mengevaluasi konsentrasi bahan kimia dan lamanya paparan yang menimbulkan pengaruh tertentu. Namun, untuk melihat pengaruh akut yang dihasilkan dari konsentrasi bahan uji (logam berat) yang dapat menimbulkan dampak merugikan dalam jangka waktu paparan yang pendek dapat dilakukan dengan uji toksisitas akut. Pengaruh merugikan tersebut berupa kematian yang diartikan sebagai immobilisasi (tidak bergerak dan tidak memberikan respon terhadap sentuhan perlahan). Hasil dari uji toksisitas ini berupa EC_{50} yang merupakan suatu nilai konsentrasi yang menyebabkan kematian sebanyak 50% dari jumlah biota uji.

Sebelum dilaksanakannya uji toksisitas logam berat, dilakukan aklimatisasi terlebih dahulu terhadap biota uji. Aklimatisasi merupakan kondisi penyesuaian hidup biota pada konsentrasi logam dalam air sekitarnya. Secara alamiah, unsur logam berat terdapat di seluruh alam, namun dalam kadar yang sangat rendah (Hutagalung, 1984). Kadar logam dapat meningkat bila limbah perkotaan, pertambangan, pertanian dan perindustrian yang banyak mengandung logam berat masuk ke dalam perairan alami melalui saluran pembuangan. Logam berat yang sangat beracun ini tahan lama dan sangat banyak terdapat di lingkungan. Logam berat tersebut adalah raksa (Hg), timah hitam (Pb), Arsen (As), Kadmium (Cd), kromium (Cr) dan Nikel (Ni).

Tabel 4.1 Logam di dalam hidrosfer

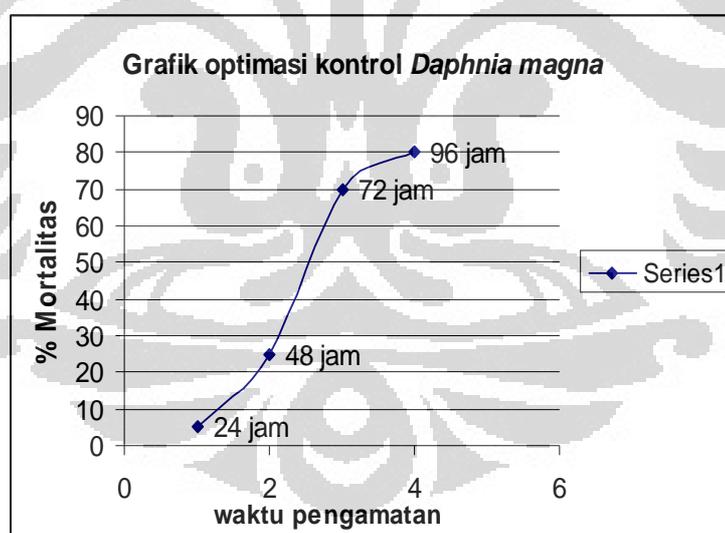
Logam	Air tawar ($\mu\text{g/L}$)	Air laut ($\mu\text{g/L}$)
Hg	0,001 – 3,5	0,03 – 2,7
Pb	0,02 – 27	0,13 – 13
Cr	0,1 – 6	0,2 – 50
As	0,001 – 3,5	0,03 – 2,7
Cd	0,01 – 3	0,01 – 4
Ni	0,03 – 10	4 – 10

Sumber: Bowen, 1979 in Alloway dan Ayres, 1993

Pada penelitian ini aklimatisasi dilakukan selama \pm 3 jam dengan menggunakan air tanah layak konsumsi. Setelah proses aklimatisasi *Daphnia magna* dikultur terlebih dahulu di akuarium dan wadah plastik selama 1 minggu. Selama proses pengkulturan diberikan aerasi batu berpori dan diberikan makan berupa campuran susu + yakult yang mengandung protein serta bakteri *Lactobacillus casei* sebanyak satu kali sehari. Setelah jumlah *Daphnia* mencukupi untuk pengujian kemudian dilaksanakan optimasi kontrol dan uji toksisitas akut.

4.2 Optimasi Kontrol

Optimasi kontrol perlu dilakukan untuk mengetahui lama waktu pengujian toksisitas. Dalam percobaan ini digunakan *freshwater* sebagai medium kontrol dengan komposisi garam sesuai dengan yang direkomendasikan oleh OECD *Test Guidelines* 202 (OECD, 2004) yaitu 0,096 g NaHCO₃, 0,06 g CaCl₂.2H₂O, 0,06 g MgSO₄.7H₂O, 0,004 g KCl. Pengujian dilakukan dua kali pengulangan, setiap pengulangan terdiri dari 10 ekor daphnia dan 50 ml medium *freshwater*. Dari hasil pengujian diperoleh grafik sebagai berikut:



Grafik 4.1 Optimasi kontrol pada *Daphnia*

Berdasarkan hasil optimasi kontrol yang dilakukan selama 4 hari pengamatan diketahui bahwa *Daphnia magna* dapat hidup secara optimal selama 24 jam. Hal ini dibuktikan melalui pengamatan pada 24 jam pertama dimana persentase mortalitas *Daphnia* <10% yang menandakan validitas test. Hal berbeda terlihat dari persentase mortalitas *Daphnia* pada 48 – 96 jam yaitu >10% yang menunjukkan kondisi *Daphnia* yang tidak optimum. Hasil optimasi kontrol ini

dapat dijadikan dasar pelaksanaan uji toksisitas akut logam berat terhadap *Daphnia magna* selama 24 jam.

4.3 Uji Toksisitas Akut Logam Berat

Setelah diperoleh waktu pengamatan pada uji toksisitas melalui optimasi kontrol, dilakukan *range finding test* (uji pendahuluan) yang bertujuan untuk mengetahui rentang konsentrasi pengujian untuk *definitive test* (uji yang sesungguhnya) yaitu dengan menentukan konsentrasi pada saat 100% hewan uji (*Daphnia magna*) mengalami immobilisasi setelah terpapar selama 24 jam. Dari hasil *range finding test* (uji pendahuluan) kemudian dilakukan *Definitive test* (uji sesungguhnya) yang bertujuan untuk menentukan konsentrasi pada saat setengah dari hewan uji (*Daphnia magna*) mengalami immobilisasi setelah terpapar larutan sampel selama 24 jam atau yang biasa disebut sebagai EC_{50} .

Berdasarkan *Global harmonized system* dalam part 4 mengenai *environmental hazards*, rentang konsentrasi uji toksisitas dibagi menjadi 3 yaitu ≤ 1 mg/L, ≤ 10 mg/L dan ≤ 100 mg/L dimana konsentrasi bahan kimia ≤ 1 mg/L termasuk dalam katagori *acute 1* yang berarti sangat toksik terhadap kehidupan akuatik, sedangkan konsentrasi bahan kimia $>1 - \leq 10$ mg/L termasuk kategori *acute 2* yang berarti toksik terhadap kehidupan akuatik dan konsentrasi bahan kimia $>10 - \leq 100$ mg/L termasuk dalam kategori *acute 3* yang berarti berbahaya bagi kehidupan akuatik.

4.3.1 Uji toksisitas akut Cadmium (Cd)

Hasil pengamatan mortalitas pada *Daphnia magna* dalam *Range finding test* selama 24 jam diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.2 *Range finding test* Cd

Larutan Cd^{2+}	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)		
	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
Pengulangan			
I	10/10	10/10	10/10
II	10/10	10/10	10/10
% mortalitas	100%	100%	100%

Dari hasil pengamatan yang dilakukan menunjukkan bahwa immobilisasi 100% pada *Daphnia magna* terdapat pada konsentrasi 1 mg/L. Dari konsentrasi ini, diperoleh rentang konsentrasi untuk *definitive test* yaitu 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 mg/L dan didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.3 *Definitive test* (I) Cd

Larutan Cd ²⁺	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)					
	Kontrol	0,1 mg/L	0,3 mg/L	0,5 mg/L	0,7 mg/L	0,9 mg/L
I	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
II	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
% mortalitas	0%	100%	100%	100%	100%	100%

Dari hasil pengujian ternyata pada konsentrasi 0,1 mg/L *Daphnia magna* masih mengalami immobilisasi 100% sehingga dibuat rentang dengan konsentrasi <0,1 mg/L yaitu 20, 40, 60 dan 80 ppb. Dan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.4 *Definitive test* (II) Cd

Larutan Cd ²⁺	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)				
	Kontrol	20 ppb	40 ppb	60 ppb	80 ppb
I	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10
II	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10
% mortalitas	0%	100%	100%	100%	100%

Dari data pengamatan masih memperlihatkan immobilisasi pada 100% hewan uji sehingga rentang konsentrasi pengujian diperkecil lagi menjadi 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 ppb dan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.5 *Definitive test* (III) Cd

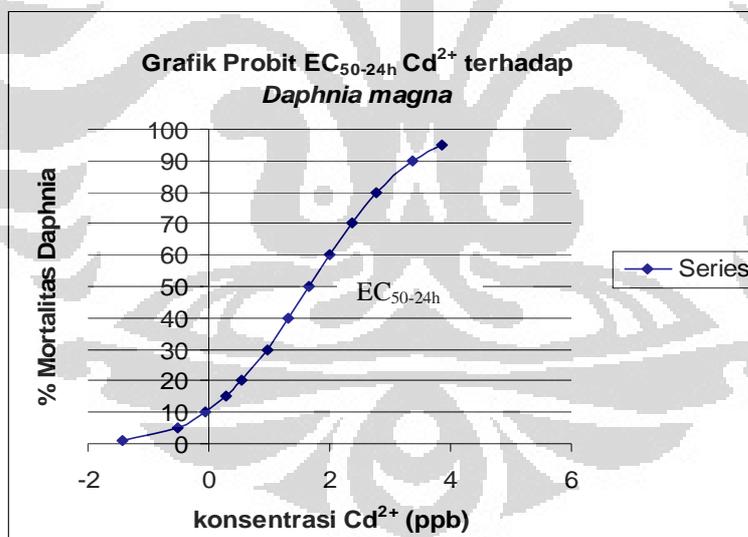
Larutan Cd ²⁺	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)						
	kontrol	5 ppb	10 ppb	15 ppb	20 ppb	25 ppb	30 ppb
I	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
II	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
% mortalitas	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Setelah ke enam rentang konsentrasi diujikan ternyata masih diperoleh hasil dimana terdapat immobilisasi pada keseluruhan hewan uji diduga EC_{50-24h} cadmium berada <5 ppb karena sifat cadmium yang sangat toksik. Rentang konsentrasi pengujian kemudian diperkecil menjadi 0,5; 1,5; 2,5; 3,5 & 4,5 dan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.6 *Definitive test* (IV)Cd

Larutan Cd ²⁺	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)					
	Kontrol	0,5 ppb	1,5 ppb	2,5 ppb	3,5 ppb	4,5 ppb
I	0/10	3/10	5/10	8/10	9/10	10/10
II	0/10	3/10	5/10	7/10	8/10	10/10
% mortalitas	0%	30%	50%	75%	85%	100%

Dari pengamatan rentang ini akhirnya diperoleh rentang konsentrasi dimana terdapat setengah dari hewan uji mengalami immobilisasi yaitu pada rentang 0,5 – 2,5 µg/L. Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan analisa probit SPSS 15 diperoleh nilai EC_{50-24h} logam Cd sebesar 1,663 µg/L dengan 95% *confidence limit* pada rentang 1,266 – 2,049 µg/L. Nilai EC_{50-24h} logam Cd menunjukkan bahwa Cd termasuk ke dalam kategori *acute I* yang berarti sangat toksik terhadap kehidupan akuatik sehingga keberadaannya dalam suatu ekosistem perlu diwaspadai dan dilakukan peninjauan lebih lanjut. Kemudian dari data yang diperoleh dapat digambarkan grafik probit EC_{50-24h} logam Cd sebagai berikut

Gambar 4.2 Grafik EC_{50-24h} Cd²⁺

Dari grafik dapat kita lihat bahwa kemungkinan probabilitas *Daphnia magna* mengalami immobilisasi sebesar <15% berada konsentrasi < 3 µg/L, kemudian beranjak naik dan kemungkinan EC_{50-24h} berada pada konsentrasi 1,663 µg/L dan kemungkinan konsentrasi saat >90% *Daphnia* mengalami immobilisasi terletak pada angka > 4 µg/L.

Nilai EC_{50-24h} logam Cd terhadap *Daphnia magna* yang diperoleh oleh Lewis & Weber (1985) sebesar 0,13 mg/L, namun menurut Ferreira *et al.*, (2008) EC_{50-24h} logam Cd sebesar 35,54 $\mu\text{g/L}$ sedangkan nilai EC_{50-24h} logam Cd yang diperoleh pada penelitian ini sebesar 1,663 $\mu\text{g/L}$ jauh lebih kecil dibandingkan kedua penelitian sebelumnya, hal ini menunjukkan bahwa toksisitas logam berat tidak hanya ditentukan oleh daya toksisitas logam berat itu sendiri tetapi juga ditentukan oleh larutan uji, suhu, pH, kadar oksigen dalam air, kondisi hewan, fase siklus hidup, dan besarnya biota uji.

4.3.2 Uji toksisitas akut Arsen (As)

Hasil pengamatan mortalitas pada *Daphnia magna* dalam *Range finding test* selama 24 jam diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.7 *Range finding test* As

Larutan As^{5+} Pengulangan	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)				
	kontrol	0,1 mg/L	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
I	0/10	0/10	1/10	10/10	10/10
II	0/10	0/10	1/10	10/10	10/10
% mortalitas	0%	0%	10%	100%	100%

Dari data ini dapat diketahui bahwa *Daphnia magna* mengalami immobilisasi 100% pada konsentrasi 10 mg/L sehingga dibuat rentang pengujian untuk *definitive test* yaitu 2, 4, 6, dan 8 mg/L dan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.8 *Definitive test* (I) As

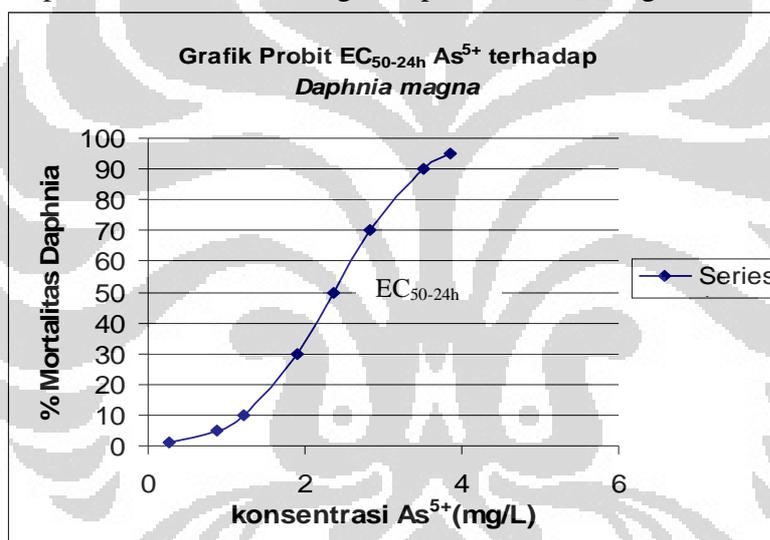
Larutan As^{5+}	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)				
	Kontrol	2 mg/L	4 mg/L	6 mg/L	8 mg/L
I	0/10	5/10	9/10	10/10	10/10
II	0/10	6/10	9/10	10/10	10/10
% mortalitas	0%	55%	90%	100%	100%

Dari hasil pengujian sudah mulai terlihat rentang EC_{50-24h} dari As namun untuk memastikannya dilakukan dengan rentang konsentrasi lebih rendah yaitu 1,2; 1,4; 1,6 dan 1,8 mg/L dan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.9 *Definitive test* (II) As

Larutan As ⁵⁺ Pengulangan	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)				
	kontrol	1,2 mg/L	1,4 mg/L	1,6 mg/L	1,8 mg/L
I	0/10	1/10	2/10	2/10	2/10
II	0/10	0/10	1/10	1/10	1/10
% mortalitas	0%	5%	15%	15%	15%

Data uji toksisitas akut yang diperoleh ini kemudian diolah dengan analisa probit SPSS 15 dan didapat nilai EC_{50-24h} logam As sebesar 2,367 mg/L dengan 95% *confidence limit* pada rentang 2,141 – 2,650 mg/L Nilai EC_{50-24h} logam As menunjukkan bahwa As termasuk ke dalam kategori *acute 2* yang berarti toksik terhadap kehidupan akuatik Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan analisa probit SPSS 15 dibuat grafik probit EC_{50-24h} logam As sebagai berikut:

Gambar 4.3 Grafik EC_{50-24h} As⁵⁺

Dari grafik dapat kita lihat bahwa kemungkinan probabilitas NOEC *Daphnia magna* berada pada konsentrasi <0.2 mg/L, kemudian beranjak naik dan kemungkinan EC_{50-24h} berada pada konsentrasi 2,367 mg/L dan kemungkinan konsentrasi saat >90% daphnia mengalami immobilisasi terletak pada angka > 3,5 mg/L. Nilai EC_{50-24h} yang diperoleh pada penelitian ini ternyata tidak berbeda jauh dengan penelitian sebelumnya oleh Tisler and Zagorc-Konean (2002) diperoleh nilai EC_{50-48h} logam As sebesar 2.5 (2.4-2.7) mg/L. Namun nilai ini jauh berbeda dari penelitian yang dilakukan Fargasova (1994) dimana ditemukan EC_{50-24h} arsenat pada *Daphnia magna* sebesar 44,7 (35,2 – 50,9 mg As/L). Perbedaan nilai

ini dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya suhu. Schaefer & Pipa (1973) menemukan bahwa toksisitas akut arsenat untuk rotifera (*Philodina roseola*) meningkat dengan meningkatnya suhu (5 sampai 35°C). Sebagai contoh, 96-h LC₅₀ adalah 18 mg As (V) / liter pada suhu 5°C dan 6,6 mg As (V) / liter pada 35 ° C. Suhu lingkungan di Indonesia khususnya di daerah depok sangat berbeda dengan suhu di Eropa. Pada penelitian Fargasova disebutkan bahwa suhu selama pengujian adalah 20⁰C sedangkan suhu pada pengujian As ini berkisar antara 29 – 31⁰C.

Data pengamatan pada logam arsen tergolong heterogen karena adanya perbedaan mortalitas pada ulangan I dan II. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi tiap biota uji yang memiliki immunitas yang berbeda dan tidak dapat dibedakan secara nyata karena ukurannya yang kecil selain dari kesamaan fase hidup dan ukuran dari seluruh biota uji adalah hal yang sangat mempengaruhi persen mortalitas karena individu yang muda biasanya lebih rentan dan lebih peka terhadap bahan pencemar.

Derajat toksisitas dari arsen pada dasarnya bergantung pada bentuk (anorganik atau organik) dan keadaan oksidasinya. Secara umum, arsen anorganik lebih toksik dari arsen organik dan arsen trivalen lebih toksik dibanding arsen pentavalen. Pada penelitian ini dipilih arsen (V) karena arsen ini merupakan bentuk yang dominan di perairan yang teroksidasi. Biota perairan dan daratan menunjukkan rentang sensitivitas yang bervariasi untuk spesies arsen yang berbeda. Mekanisme toksisitas arsenik anorganik pentavalen, seperti arsenat adalah reduksi ke bentuk trivalen, seperti arsenit. Arsenat diketahui mempengaruhi oksidasi fosforilasi oleh persaingan dengan fosfat. Di lingkungan, pada saat konsentrasi fosfat tinggi, toksisitas arsenat terhadap biota umumnya berkurang sehingga biota yang hidup di lingkungan arsenat tinggi harus mendapatkan nutrisi fosfor untuk menghindari toksisitas arsenik (IPCS, 2001).

4.3.3 Uji toksisitas akut Chromium (Cr)

Hasil pengamatan mortalitas pada *Daphnia magna* dalam *Range finding test* selama 24 jam diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.10 *Range finding test Cr*

Larutan Cr ³⁺	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)		
	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
Pengulangan			
I	2/10	3/10	10/10
II	2/10	5/10	10/10
% mortalitas	20%	40%	100%

Dari hasil pengamatan yang dilakukan menunjukkan bahwa immobilisasi 100% pada *Daphnia magna* terdapat pada konsentrasi 100 mg/L. Dari konsentrasi ini, diperoleh rentang konsentrasi untuk *definitive test* yaitu 20; 40; 60; 80 mg/L dan didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.11 *Definitive test (I) Cr*

Larutan Cr ³⁺	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)				
	kontrol	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	80 mg/L
Pengulangan					
I	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10
II	1/10	9/10	10/10	10/10	10/10
% mortalitas	5%	95%	100%	100%	100%

Dari data yang diperoleh ternyata pada konsentrasi 20 mg/L terdapat immobilisasi sebesar 95%, sehingga dilakukan pengujian dengan memperkecil konsentrasi dengan rentang 5; 15; 25; 35 mg/L dan diperoleh data sebagai berikut:

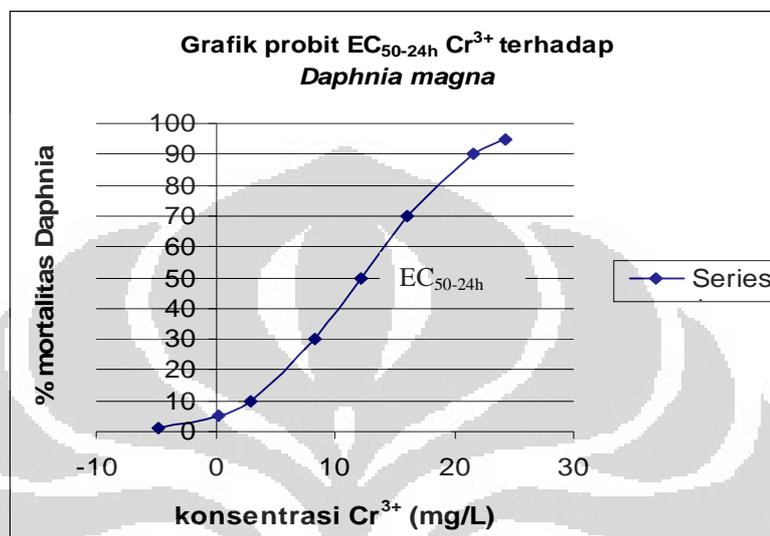
Tabel 4.12 *Definitive test (II) Cr*

Larutan Cr ²⁺	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)				
	kontrol	5 mg/L	15 mg/L	25 mg/L	35 mg/L
Pengulangan					
I	0/10	3/10	5/10	10/10	10/10
II	0/10	3/10	5/10	10/10	10/10
Presentase	0%	30%	50%	100%	100%

Dari hasil pengamatan diperoleh rentang konsentrasi dimana setengah dari hewan uji mengalami immobilisasi yaitu pada 5 – 15 mg/L. Setelah data diolah dengan analisa probit SPSS 15 diperoleh nilai EC_{50-24h} logam Cr sebesar 12,225 mg/L dengan 95% *confidence limit* pada rentang 9,554 – 15,211 mg/L. Nilai EC_{50-24h} logam Cr menunjukkan bahwa Cr termasuk ke dalam kategori *acute 3* yang

berarti berbahaya bagi kehidupan akuatik. Logam Cr dalam bentuk ion Cr^{3+} memang merupakan logam yang daya toksisitasnya lebih rendah dibandingkan Cd, Ni, Pb dan As.

Grafik probit $\text{EC}_{50-24\text{h}}$ logam Cr yang diperoleh pada penelitian ini yaitu:



Gambar 4.4 Grafik $\text{EC}_{50-24\text{h}}$ Cr^{3+}

Dari grafik dapat kita lihat bahwa kemungkinan probabilitas *Daphnia magna* mengalami immobilisasi <10% berada pada konsentrasi <3 mg/L, kemudian beranjak naik dan kemungkinan $\text{EC}_{50-24\text{h}}$ berada pada konsentrasi 12,225 mg/L dan kemungkinan konsentrasi saat >90% *Daphnia* mengalami immobilisasi terletak pada angka > 21 mg/L.

Logam Cr dalam bentuk ion Cr^{3+} memang merupakan logam yang daya toksisitasnya lebih rendah dibandingkan Cd, Ni, Pb dan As. Menurut IPCS (*International Programme on Chemical Safety*) dalam *Environmental Health Criteria* (1988) $\text{EC}_{50-24\text{h}}$ logam berat Cr terhadap *Daphnia magna* berkisar antara 2,0 – 64,0 mg/L. Dalam penelitian ini diperoleh nilai $\text{EC}_{50-24\text{h}}$ logam berat Cr sebesar 12,225 mg/L. Hal ini menandakan bahwa nilai $\text{EC}_{50-24\text{h}}$ yang diperoleh pada penelitian ini masih berada pada range yang dibuat oleh IPCS.

4.3.4 Uji toksisitas akut Nikel (Ni)

Hasil pengamatan mortalitas pada *Daphnia magna* dalam *Range finding test* selama 24 jam diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.13 *Range finding test* Ni

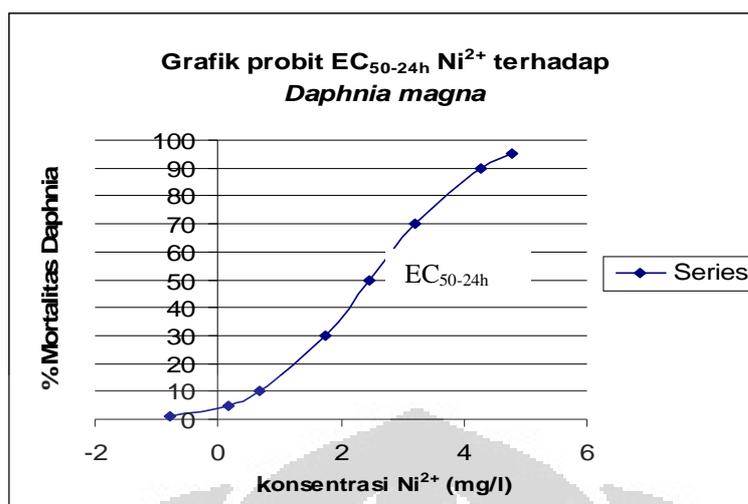
Larutan Ni ²⁺ Pengulangan	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)		
	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
I	1/10	10/10	10/10
II	2/10	10/10	10/10
% mortalitas	15%	100%	100%

Dari data pengamatan diperoleh 100% immobilisasi pada *Daphnia magna* di konsentrasi 10 mg/L. Dari konsentrasi ini dibuat range untuk *range finding test* yaitu 2; 4; 6 dan 8 mg/L dan dihasilkan data seperti di bawah ini:

Tabel 4.14 *Definitive test* Ni

Larutan Ni ²⁺ Pengulangan	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)				
	kontrol	2 mg/L	4 mg/L	6 mg/L	8 mg/L
I	0/10	4/10	10/10	9/10	10/10
II	0/10	4/10	9/10	10/10	10/10
% mortalitas	0%	40%	95%	95%	100%

Dari hasil pengujian *definitive test* diperoleh rentang konsentrasi saat setengah hewan uji mengalami immobilisasi pada 2 – 4 mg/L. Setelah dianalisa menggunakan probit SPSS 15 diperoleh nilai EC_{50-24h} logam Ni sebesar 2,471 mg/L dengan 95% *confidence limit* pada rentang 1.149 – 3,618 mg/L. Nilai EC_{50-24h} logam Ni menunjukkan bahwa Ni termasuk ke dalam kategori *acute 2* yang berarti toksik terhadap kehidupan akuatik. Grafik probit EC_{50-24h} logam Cr yang diperoleh pada penelitian ini yaitu:



Gambar 4.5 Grafik EC_{50-24h} Ni²⁺

Dari grafik dapat kita lihat bahwa kemungkinan probabilitas *Daphnia magna* mengalami immobilisasi <10% berada pada konsentrasi < 0,7 mg/L, kemudian beranjak naik dan kemungkinan EC_{50-24h} berada pada konsentrasi 2,471 mg/L dan kemungkinan konsentrasi saat >90% *Daphnia* mengalami immobilisasi terletak pada angka > 4,2 mg/L. Hal ini selaras dengan penelitian Lazareva (1985) pemaparan nikel sulfat terhadap *Daphnia magna* pada konsentrasi berkisar antara 5 - 10 mg nikel / liter untuk 3 generasi mengakibatkan pemusnahan.

Menurut IPCS (*International Programme on Chemical Safety*) dalam *Environmental Health Criteria* (1988) EC_{50-24h} logam berat Ni terhadap *Daphnia magna* < 2,0 mg/L, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Aloyzas Burba (1999) diperoleh nilai EC_{50-96h} sebesar 2,58 mg/L.

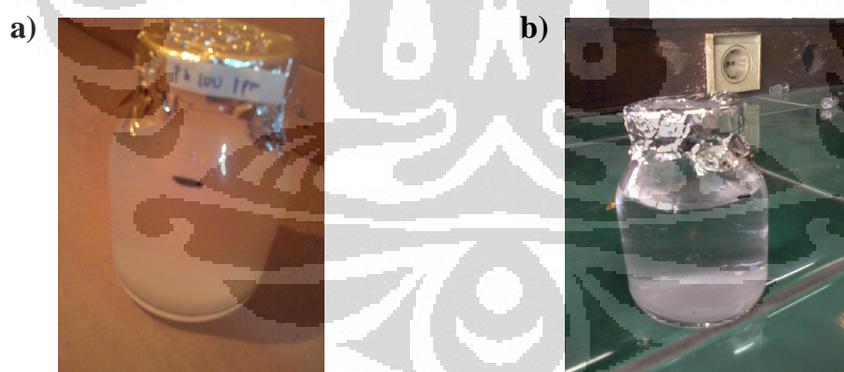
Dalam penelitian ini nilai EC_{50-24h} logam berat Ni yang diperoleh sebesar 2,471 mg/L. Nilai toksisitas pada invertebrata air bervariasi menurut spesies dan faktor abiotik. Bryant *et al.* (1985) meneliti efek dari temperatur dan salinitas pada toksisitas nikel dalam dua invertebrata perairan. Dalam katak *Corophium volutator*, dan kerang *Macoma baltia*, 96-h nilai LC₅₀ bervariasi 5-54 mg nikel / liter dan 95-1100 mg nikel / liter. Penurunan salinitas 35-5 mg/L menghasilkan toksisitas lebih besar pada kedua spesies. Toksisitas juga meningkat di *Corophium volutator* dengan peningkatan suhu dari 5 sampai 15°C. Menurut penelitian Anderson (1950) 64-h LC₅₀ ditentukan untuk *Daphnia magna* pada suhu 25 ° C dan kekerasan sekitar 100 mg CaCO₃/liter sebesar 0,32 mg nikel / liter.

Baudouin & Scoppa (1974), menggunakan *Daphnia hyalina*, memperkirakan 48-h nilai LC₅₀ sebesar 1,9 mg nikel/liter pada suhu 10 ° C, pH 6,2 dan kekerasan dari 58 mg CaCO₃/liter. Hal ini memperlihatkan toksisitas nikel dipengaruhi oleh kekerasan, suhu, salinitas dan waktu paparan. Semakin tinggi suhu semakin besar toksisitas nikel. Semakin keras kesadahan air semakin menurunkan tingkat toksisitas. Semakin berkurang salinitas akan meningkatkan toksisitas dan umumnya untuk waktu paparan yang lebih pendek diperlukan konsentrasi yang lebih besar untuk mendapatkan respon dari hewan uji.

4.3.5 Uji toksisitas akut Timbal (Pb)

Garam timbal sedikit larut dalam air dan keberadaan garam lain mengurangi availabilitas timbal terhadap organisme karena adanya pengendapan. Pada uji toksisitas akut menggunakan logam Pb terjadi reaksi pengendapan saat mencampurkan larutan garam Pb(NO₃)₂ ke dalam *freshwater* yang terdiri dari 0,0960 g NaHCO₃, 0,060 g CaCl₂.2H₂O, 0,06 g MgSO₄.7H₂O, dan 0,004 g KCl. Reaksi ini menghasilkan endapan putih khususnya pada rentang konsentrasi Pb dari 10 – 100 mg/L.

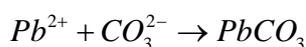
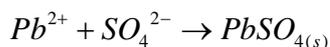
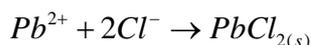
Pengamatan yang terjadi saat uji toksisitas logam Pb:



Gambar 4.6 a) Larutan logam Pb 100 mg/L dalam *freshwater* 50 ml saat awal uji toksisitas,

b) Larutan logam Pb 100 mg/L dalam *freshwater* 50 ml setelah 24 jam.

Terbentuknya endapan putih pada saat pencampuran logam Pb dan *freshwater* kemungkinan akibat adanya anion Cl⁻, CO₃²⁻, dan SO₄²⁻ yang terdapat dalam komposisi *freshwater*. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dalam kasus ini, mula – mula campuran *freshwater* dengan larutan garam Pb berubah dari bening menjadi larutan putih keruh, pada saat itu larutan dengan hasil kali konsentrasi ion – ionnya (Q) melewati harga ksp adalah larutan yang lewat jenuh dan pengendapan akan terjadi saat hasil kali konsentrasi ion – ionnya sama dengan harga Ksp dimana Ksp merupakan suatu tetapan hasil kali kelarutan yang dinyatakan sebagai hasil kali konsentrasi ion – ion yang ada dalam kesetimbangan.

Freshwater yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tingkat kesadahan medium sesuai dengan klasifikasi dari CCREM (1987).

Tabel 4.15 Kesadahan air

Kesadahan (mg/L CaCO ₃)
0 – 60 (lunak / soft)
60 – 120 (sedang / medium)
120 – 180 (sadah / hard)
>180 (sangat sadah / very hard)

Pada tingkat kesadahan *freshwater* medium, seluruh hewan uji (*Daphnia magna*) bertahan hidup dalam kontrol selama pengujian 24 jam sehingga disimpulkan bahwa *freshwater* dengan tingkat kesadahan medium cocok digunakan selama pengujian, namun khusus untuk logam Pb ternyata terjadi pengendapan saat pencampuran *freshwater* dengan garam Pb(NO₃)₂ sehingga digunakan alternatif dengan menurunkan tingkat kesadahan dan mengubah komposisi dari garam – garamnya. Menurut U.S. EPA (1991) jenis *freshwater* yang memiliki kesadahan lunak dan sangat lunak memiliki komposisi sebagai berikut:

Tabel 4.16 Jenis kesadahan air

Jenis air	NaHCO ₃	CaSO ₄	MgSO ₄ .2H ₂ O	KCl
Sangat lunak	12 mg/L	7.5 mg/L	7.5 mg/L	0,5 mg/L
Lunak	48 mg/L	30 mg/L	30 mg/L	2,0 mg/L

Setelah dilakukan *range finding test* menggunakan larutan *freshwater* dengan komposisi seperti diatas diperoleh hasil dimana pada pengujian dengan menggunakan *freshwater* dengan kesadahan yang sangat lunak ternyata larutan garam Pb pada konsentrasi 100 mg/L tidak mengalami pengendapan namun setelah dilakukan uji toksisitas selama 24 jam diperoleh data pengamatan dimana terjadi kematian pada 100% hewan uji baik pada larutan uji dengan konsentrasi 1, 10, dan 100 mg/L maupun pada kontrol. Sedangkan untuk pengujian dengan menggunakan larutan *freshwater* dengan kesadahan lunak pada larutan uji Pb 100 mg/L masih terbentuk endapan putih dan hasil uji toksisitas setelah 24 jam diperoleh immobilisasi 100% pada *Daphnia magna* baik pada kontrol maupun larutan uji. Dari hasil percobaan ini dapat disimpulkan bahwa *Daphnia magna* dalam penelitian ini tidak cocok menggunakan *freshwater* dengan tingkat kesadahan sangat lunak dan lunak. Immobilisasi yang terjadi pada keseluruhan hewan uji diakibatkan karena sifat toksisitas Pb akan meningkat saat terjadi penurunan kesadahan karena terjadinya penurunan komposisi ion Ca^{2+} yang dapat menjaga keseimbangan dalam tubuh (homeostatis sel tubuh). Kalsium pada tingkat kesadahan keras memiliki efek perlindungan pada organisme saat terpapar logam karena adanya persaingan antara kalsium dengan logam lain pada sisi ikatan. Ion logam berat dan ion Ca^{2+} berkompetisi untuk masuk ke dalam tubuh organisme. Masuknya ion Ca^{2+} kedalam membran sel menyebabkan kestabilan yang dapat mengurangi permeabilitas membran terhadap ion metal (Komjarova, I. 2009)

Dalam penelitian ini tetap dilakukan pengujian toksisitas logam Pb dalam *freshwater* dengan tingkat kesadahan medium. Toksisitas akut dari timbal sangat bergantung dari keberadaan ion lain dalam larutan. Terjadinya pengendapan garam Pb akan mengurangi availabilitas logam Pb terhadap *Daphnia* karena hanya sedikit

ion logam yang terlarut dalam air dan sebagian besar mengendap di dasar botol vial. Hasil pengamatan *range finding test* logam Pb adalah sebagai berikut:

Tabel 4.17 *Range finding test* Pb

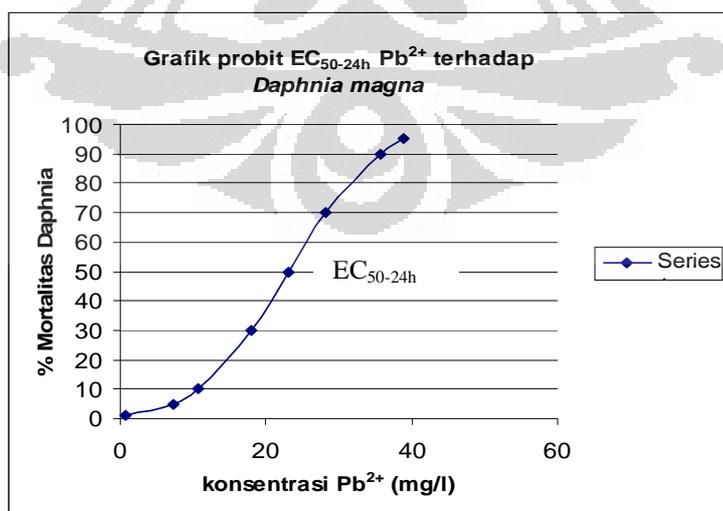
Larutan Pb ²⁺ Pengulangan	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)		
	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
I	3/10	5/10	10/10
II	2/10	5/10	10/10
% mortalitas	25%	50%	100%

Dari hasil pengamatan diperoleh konsentrasi logam berat Pb pada saat 100% hewan uji mengalami immobilisasi pada 100 mg/L. Setelah itu, dilakukan *definitive test* dengan rentang konsentrasi 20, 40, 60, dan 80 mg/L dan didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.18 *Definitive test* Pb

Larutan Pb ²⁺ Pengulangan	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)				
	kontrol	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	80 mg/L
I	0/10	4/10	9/10	10/10	10/10
II	0/10	4/10	10/10	10/10	10/10
% mortalitas	0%	40%	95%	100%	100%

Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa rentang EC_{50-24h} berada pada 20 – 40 mg/L dan setelah diolah dengan analisa probit SPSS 15 diperoleh nilai EC_{50-24h} logam berat Pb pada 23,136 mg/L dengan 95% *confidence limit* berada pada rentang 18,053 – 28,098 mg/L. Grafik probit EC_{50-24h} logam Pb yang diperoleh pada penelitian ini yaitu

Gambar 4.7 Grafik EC_{50-24h} Pb²⁺

Menurut Ahmet Altında (2008) dalam *African journal of Biotechnology* menyatakan bahwa EC_{50-24h} logam Pb sebesar 0,44 – 0,51 mg/L. Nilai ini jauh lebih kecil dari nilai EC_{50-24h} logam Pb yang diperoleh dalam penelitian ini. Hal ini jelas karena terbentuknya endapan garam Pb menyebabkan menurunnya sifat toksisitas logam ini karena logam ini mengendap di dasar wadah sehingga pemasukan logam ini ke dalam tubuh daphnia jauh lebih sedikit dibanding bila logam tersebut larut dalam *freshwater*.

Tabel 4.19 Nilai EC_{50-24h} Logam Berat

Logam	EC_{50-24h}	95% confidence limit
	(mg/L)	(mg/L)
Cr	12,225	9,554 -15,211
Ni	2,471	1,149 - 3,618
Pb	23,136	18,053 - 28,098
Cd	0,001663	0,001266 -0,002049
As	2,369	2,145 -2,651

Dari data hasil uji toksisitas akut kelima logam berat: Cd, Cr, Ni, Pb dan As dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa urutan toksisitas logam berat yang diperoleh adalah sebagai berikut:



Dimana logam Cd merupakan logam paling toksik terhadap *Daphnia magna*. Logam Cd bersifat sangat toksik karena mempunyai kemampuan untuk mengikat gugus S (sulfur) dan karboksi (-COOH) dari molekul – molekul protein, asam amino dan bahkan amida yang terdapat dalam satuan – satuan protein. Di samping itu logam ini juga mempunyai kemampuan untuk menggantikan keberadaan logam – logam lain yang terdapat dalam protein – logam (metalloprotein) (Darmono, 1995). Menurut literatur seharusnya logam Pb memiliki toksisitas lebih tinggi dibanding Cr, namun dalam penelitian ini didapatkan nilai EC_{50-24h} Pb yang lebih besar. Hal ini karena pengendapan yang dari pencampuran *freshwater* yang menyebabkan berkurangnya bioavailabilitas logam tersebut terhadap biota uji.

4.4 Uji Toksisitas campuran logam

Logam berat tidak berada sendirian di alam, di perairan logam berada dalam bentuk campuran. Uji toksisitas campuran logam pada *Daphnia magna* ini bertujuan untuk melihat toksisitas logam dalam bentuk campuran. *Daphnia magna* merupakan organisme air tawar, sedangkan pada penelitian ini yang digunakan sebagai model simulasi adalah fraksi sedimen dari perairan Teluk Jakarta (perairan muara). Kedua hal ini memang tidak berhubungan secara langsung. Pada penelitian ini hanya ingin melihat sifat bahaya (toksisitas) dari logam – logam yang terdapat dalam fraksi sedimen yang digunakan untuk pengujian toksisitas menggunakan *Daphnia magna* sesuai dengan *OECD 202 Guidelines* bukan melihat potensi logam tersebut berbahaya bagi kehidupan biota akuatik di teluk Jakarta sehingga tidak digunakan biota dari perairan teluk Jakarta untuk pengujian toksisitas.

Model campuran logam dalam penelitian ini diperoleh dari konsentrasi terendah ekstraksi fraksi sedimen Perairan Teluk Jakarta. Teluk Jakarta dipilih sebagai model simulasi karena Teluk Jakarta merupakan salah satu perairan yang kualitas perairannya sudah melewati batas ambang baku mutu kualitas perairan menurut kriteria Men LH (1988).

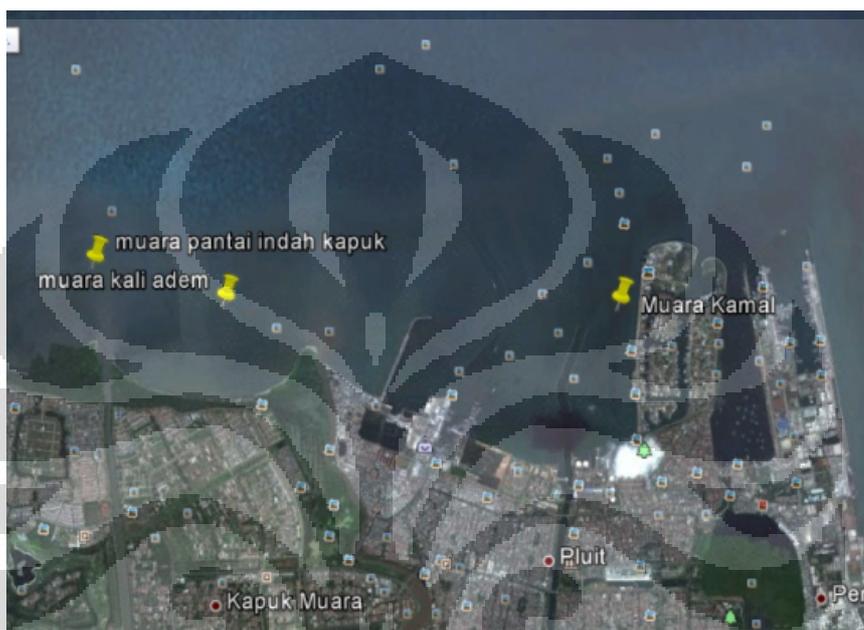
Kandungan logam pada sedimen diekstraksi dengan variasi pH untuk mengetahui pengaruh pH pada pelepasan logam dari sedimen ke perairan. Untuk mencapai tujuan ini, dilakukan analisis kandungan logam berat pada sedimen Teluk Jakarta

4.4.1 Kandungan Logam Berat Pada Sedimen Teluk Jakarta

Mula – mula dilakukan pengambilan sampel sedimen di tiga titik perairan Teluk Jakarta yaitu muara angke, muara pantai indah kapuk dan muara kamal. Lokasi ini dipilih karena letaknya yang dekat dengan pemukiman nelayan dan dikelilingi oleh daerah industri.



Gambar 4.8 Keadaan perairan Teluk Jakarta saat sampling sedimen (11 Februari 2012)



Gambar 4.9 Lokasi sampling sedimen

Dari hasil sampling sedimen diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.20 Data sampling sedimen

Lokasi pengambilan sampel	Posisi Sampling		Suhu	pH	Salinitas	Warna dan bentuk sedimen
	Lintang	Bujur				
I (Muara Kali Adem)	6°5'51"	106°45'34"	31°C	7	18	Lumpur padat coklat kehitaman dan bau
II (Muara Pantai Indah Kapuk)	6°5'41"	106°44'59"	31,5°C	7	14	Lumpur padat hitam dan bau
III (Muara Kamal)	6°5'52"	106°47'20"	33°C	7	26	Lumpur hitam dan bau

Dari hasil pengukuran diperoleh nilai rata - rata suhu ditiga titik sampling berkisar antara 31 – 33⁰C. Pada biota yang hidup diperairan, suhu mempengaruhi proses metabolisme pada tubuh biota tersebut. Peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan daya larut oksigen terlarut. Suhu air terutama dilapisan permukaan ditentukan oleh pemanasan matahari yang intensitasnya bisa

berubah terhadap waktu, oleh karena itu suhu air laut akan seirama dengan perubahan intensitas penyinaran. Sedangkan salinitas, pada ketiga titik diperoleh nilai salinitas yang bervariasi dari 18 – 26 per mil. Salinitas merupakan konsentrasi rata – rata seluruh garam yang terdapat di dalam air laut. Daerah estuarin merupakan suatu daerah dimana kadar salinitasnya berkurang karena adanya sejumlah air tawar yang masuk yang berasal dari sungai dan disebabkan oleh terjadinya pasang surut di daerah ini. Kisaran salinitas yang rendah diperkirakan karena adanya pencampuran antara air laut dan air sungai. Secara umum pH yang diperoleh dari ketiga titik sampling adalah 7. Persamaan nilai pH ini disebabkan oleh sifat dari air laut yang mempunyai sistem buffer sehingga mampu mengendalikan sifat asam atau basa yang masuk ke dalam perairan. Nilai pH pada perairan teluk Jakarta masih berada pada range batasan nilai pH yang ditentukan kantor kementerian negara dan lingkungan hidup No.51 tahun 2004 yaitu 6,5 – 8.

Setelah dilakukan pengambilan sampel, sedimen dikeringkan pada suhu 104°C dan digerus sampai halus, kemudian dilakukan destruksi dengan *aquaregia* menggunakan metode ISO 11466 dan ekstraksi dengan variasi pH yaitu: pH 3, 5, dan 7. Pembuatan fraksi asam pH 3 dan 5 ini mengacu pada metode 1311: US-EPA TCLP *Prosedure* sedangkan untuk ekstraksi sedimen dengan pH 3, 5 dan 7 menggunakan metode Tessier *et. al.*



Destruksi sedimen dengan *aquaregia*



Proses ekstraksi sedimen dengan variasi pH

Gambar 4.10 Preparasi Fraksi sedimen Perairan Teluk Jakarta

Filtrat yang diperoleh dari hasil destruksi dan ekstraksi dianalisis dengan AAS, dan didapatkan data kandungan logam berat pada sedimen teluk Jakarta sebagaimana yang terlampir dalam lampiran II.

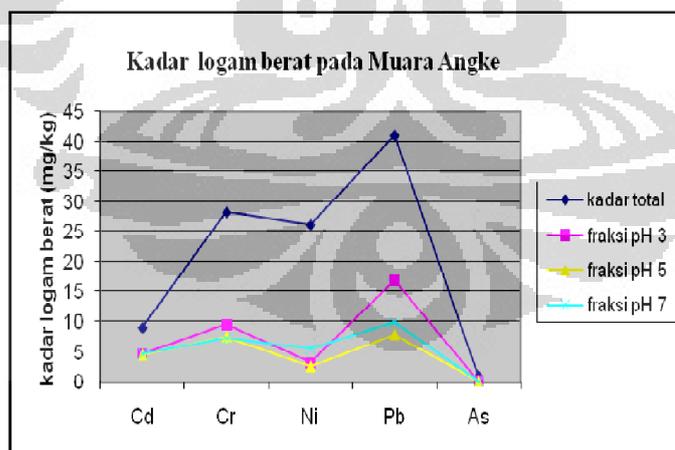
Sebelum dilakukan analisis logam berat dalam fraksi sedimen, terlebih dahulu dilakukan penentuan *Limit of Detection (LOD)* dan *Limit of Quantification*

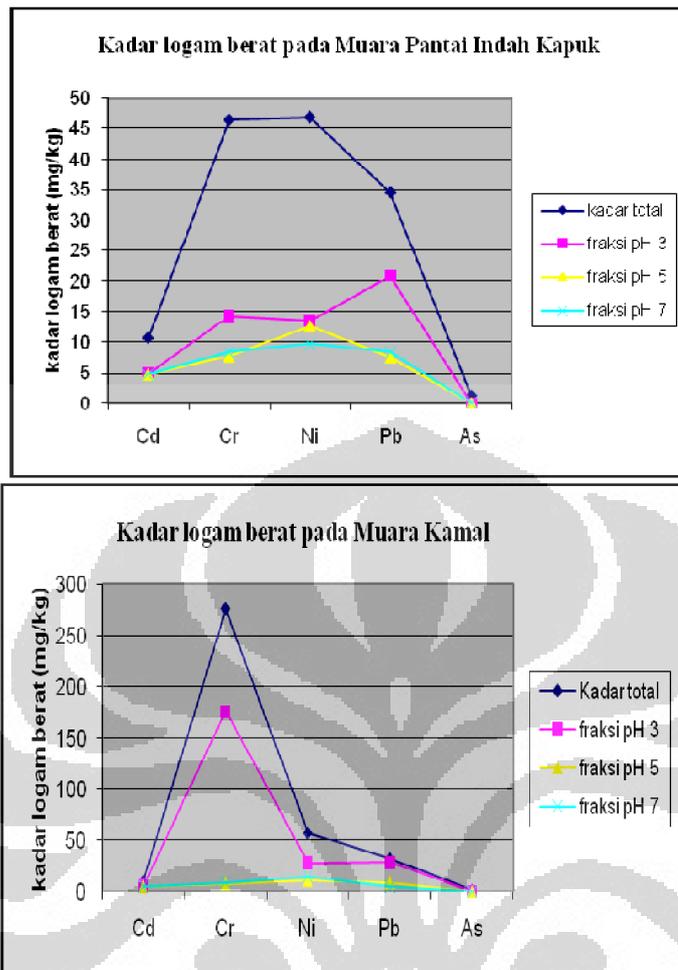
(LOQ). *Limit of detection* (LOD) adalah jumlah terkecil analit dalam sampel yang dapat dideteksi dan masih memberikan respon signifikan dibandingkan dengan blangko sedangkan *Limit of quantification* (LOQ) merupakan konsentrasi terendah dari analit yang dapat ditentukan dengan akurasi yang dapat diterima. Perhitungan limit deteksi dan limit kuantifikasi dilakukan dengan cara statistik melalui perhitungan selisih absorbansi yang terukur dan absorbansi yang didapat kurva kalibrasi pada konsentrasi yang sama. Dari hasil pengolahan data yang terdapat pada Lampiran VII diperoleh nilai LOD dan LOQ sebagai berikut:

Tabel 4.21 Data LOD dan LOQ logam berat

Logam	LOD	LOQ
Pb	0.1581 $\mu\text{g/mL}$	0.5270463 $\mu\text{g/mL}$
Cr	1.447874 $\mu\text{g/mL}$	4.8262466 $\mu\text{g/mL}$
Ni	1.77891 $\mu\text{g/mL}$	5.9297458 $\mu\text{g/mL}$
Cd	0.4982794 $\mu\text{g/mL}$	1.66093 $\mu\text{g/mL}$
As	2.78442 $\mu\text{g/L}$	9.281402 $\mu\text{g/L}$

Setelah dilakukan penentuan LOD dan LOQ selanjutnya dilakukan analisis kadar logam berat dalam fraksi sedimen. Dari hasil pengukuran dengan AAS diperoleh grafik sebagai berikut:





Gambar 4.11 Kadar total logam berat dalam sedimen di Perairan Teluk Jakarta

Dari gambar grafik 4.11 kita dapat lihat bahwa terdapat kandungan logam berat Cd, Cr, Ni, Pb, dan As pada fraksi sedimen Teluk Jakarta. Distribusi logam berat ini kemungkinan diperoleh dari aktivitas daratan dan pesisir seperti hasil buangan limbah industri.

Pada grafik diatas, kadar total yang diperoleh dengan destruksi total menggunakan *aquaregia* jauh lebih besar dibanding fraksionasi. Hal ini karena *aquaregia* mampu menghancurkan hampir semua unsur yang ada di lingkungan kecuali mineral kristal silikat, penggunaan asam kuat ini sebagai pendestruksi dapat dianggap mendekati dari jumlah total unsur logam berat dalam contoh uji (USEPA, 1986) dalam hal ini sedimen Perairan Teluk Jakarta.

Pada fraksionasi, dari gambar grafik dapat kita ketahui bahwa terdapat kandungan logam berat Pb, Cd, Cr, Ni dan As dalam sedimen yang dapat terlepas (*leaching*) oleh adanya pengaruh pH. Besarnya kadar logam berat pada

fraksionasi berkaitan dengan *Exchangeable fraction* yang diasumsikan dan sebagai bagian terluar dari suatu sedimen yang memiliki *bioavailabilitas* perairan yang tinggi yaitu besarnya logam yang terlepas dari sedimen yang dapat diserap/dikonsumsi kembali oleh biota akibat adanya gejala alamiah seperti tekanan dari ombak yang menyebabkan pengadukan sedimen, perubahan pH perairan, dan kontaminasi dari biota (Budiawan, 2007) sehingga secara garis besar dapat menggambarkan kondisi dari perairan teluk Jakarta.

Logam yang berada pada fraksi ini berikatan lemah dengan karbonat. Kandungan logam yang berikatan lemah dengan karbonat dapat diputuskan dengan menggunakan asam lemah seperti asam asetat. Ikatan antara logam dengan karbonat ini dipengaruhi oleh pH, semakin rendah pH maka ikatan antara logam dengan karbonat semakin mudah terlepas (Zerbe.J *et al.*, 1999) sehingga kadar logam berat yang diperoleh pada Fraksi 3 pada umumnya lebih besar dibandingkan fraksi pH 5 dan 7. Reaksi yang terjadi pada *Exchangeable fraction* adalah sebagai berikut:



Dimana M^{2+} merupakan logam yang terikat pada karbonat.

Selain ikatan logam dengan karbonat, fraksionasi juga dipengaruhi dengan keberadaan asam humat dalam sedimen. Asam humat itu sendiri merupakan zat organik yang memiliki struktur molekul kompleks dengan berat molekul tinggi (makromolekul atau polimer organik) yang mengandung gugus aktif. Di alam, Asam Humat terbentuk melalui proses fisika, kimia, dan biologi dari bahan-bahan yang berasal dari tumbuhan maupun hewan melalui proses humifikasi. Menurut Parsons & Takahashi (1997), sedimen laut dangkal termasuk dalam hal ini perairan teluk Jakarta mengandung komponen organik >30% dari berat total sedimen, dimana 50%nya merupakan karbon organik. Jumlah komponen organik yang terdapat dalam sedimen, sebesar 30-50% merupakan substansi humus. Asam humat dapat membentuk kompleks kelat dengan kation polivalen termasuk kation dari logam berat karena keberadaan gugus phenolat dan karboksilat pada strukturnya. Diasumsikan bahwa gugus fungsi yang terdapat unsur bertindak sebagai sisi ikatan dengan logam. Pada pH yang lebih tinggi asam humat memfasilitasi kelarutan logam dalam air diikuti perubahan toksisitas dan

bioavailabilitas. Pada kondisi pH yang tinggi ikatan antara asam humat dan ion logam akan mudah diputuskan (Anuradha.V, Nair.S.M, Kumar.N.C, 2011). Hal inilah yang mempengaruhi kadar logam berat pada ketiga fraksi khususnya fraksi pH 7.

4.4.2 Uji Toksisitas dari Simulasi Fraksi Sedimen

Setelah diperoleh kadar logam berat dengan ekstraksi variasi pH, Dilakukan pengujian toksisitas akut campuran logam. Kadar campuran logam diperoleh dari kadar logam berat terendah dalam ekstrak sedimen di tiga titik sampel: Muara Angke, Muara Pantai Indah Kapuk dan Muara Kamal. Campuran logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran logam Cd-Cr-Ni-As, Pb tidak disertakan karena dikhawatirkan akan menyebabkan pengendapan pada campuran logam.

Tabel 4.22 Kadar logam berat dalam fraksi

Titik 1: Muara angke				
Logam	EC _{50-24h} (mg/L)	Fraksi pH 3 (mg/l)	Fraksi pH 5 (mg/l)	Fraksi pH 7 (mg/l)
Cd	0,001663	0,185	0,524	0,183
Cr	12,225	0,431	0,353	0,388
Ni	2,369	0,125	0,105	0,222
As	2,471	0,001	0,0031	0,0018

Titik 2: Muara pantai indah kapuk				
Logam	EC _{50-24h} (mg/L)	Fraksi pH 3 (mg/l)	Fraksi pH 5 (mg/l)	Fraksi pH 7 (mg/l)
Cd	0,001663	0,195	0,193	0,194
Cr	12,225	0,617	0,359	0,387
Ni	2,369	0,542	0,510	0,389
As	2,471	0,001	0,0036	0,0028

Titik 3: Muara kamal				
Logam	EC _{50-24h} (mg/L)	Fraksi pH 3 (mg/l)	Fraksi pH 5 (mg/l)	Fraksi pH 7 (mg/l)
Cd	0,001663	0,197	0,183	0,204
Cr	12,225	7,008	0,371	0,397
Ni	2,369	1,109	0,446	0,573
As	2,471	0,001	0,0034	0,0023

Dari data diatas dapat kita lihat bahwa secara umum kadar logam berat terendah di Muara Angke (titik sampling 1) berada pada fraksi pH 7, sedangkan pada Muara Pantai Indah Kapuk (titik sampling 2) kadar logam berat terendah berada pada fraksi pH 5 dan pada Muara Kamal kadar logam berat terendah berada pada fraksi pH 5. Dari data analisis ini kemudian dibuat simulasi uji toksisitas campuran logam berat dalam 50 ml larutan *freshwater*. Setelah campuran logam berat diujikan selama 24 jam diperoleh data pengamatan sebagai berikut:

Tabel 4.23 Pengamatan immobilisasi *Daphnia* dari simulasi fraksi sedimen

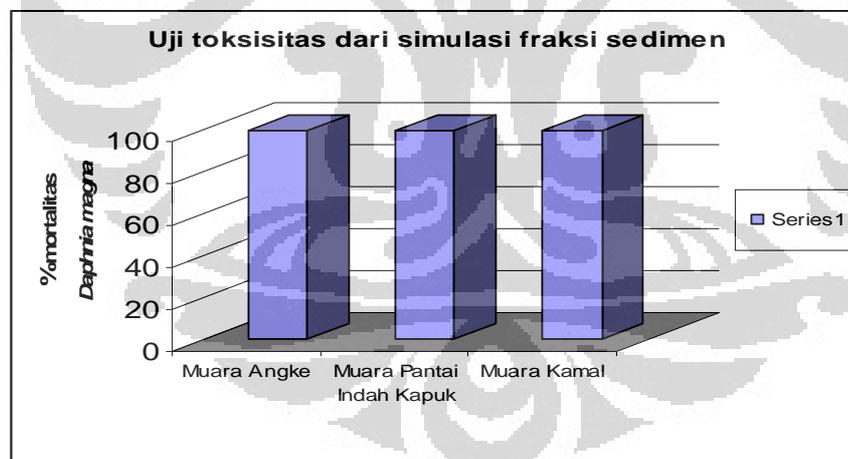
Campuran logam berat	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)			
	Kontrol	M A	M PIK	MK
I	0/10	10/10	10/10	10/10
II	0/10	10/10	10/10	10/10
% Mortalitas	0%	100%	100%	100%

Keterangan:

MA : Muara Angke

M PIK: Muara Pantai Indah Kapuk

MK: Muara Kamal



Gambar 4.12 Grafik uji toksisitas dari simulasi fraksi sedimen

Dari data hasil pengamatan ternyata terjadi toksisitas campuran logam berat yang mengakibatkan keseluruhan hewan uji (*Daphnia magna*) mengalami immobilisasi. Diduga logam yang memiliki peran dominan dalam mengimmobilisasi *Daphnia* adalah Cadmium. Hal ini ditunjukkan dari besarnya konsentrasi logam berat Cd yang berada diatas nilai EC_{50-24h} yang diperoleh dari penelitian. Kadar logam berat lain seperti Ni, Cr, dan As masih berada di bawah

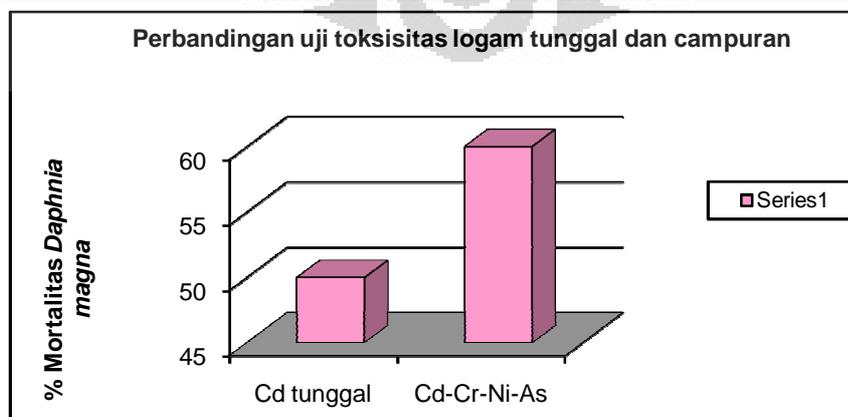
nilai EC_{50-24h} namun juga ikut mempengaruhi toksisitas campuran dan Cr berpengaruh paling sedikit dalam campuran tetapi keberadaannya meningkatkan toksisitas campuran dari fraksi sedimen.

Dapat kita simpulkan bahwa kadar pencemaran logam berat Ni, Cr, dan As dalam ekstrak sedimen masih berada dibawah nilai EC_{50-24h} masing – masing logam terhadap *Daphnia magna*, Namun kadar logam berat Cd sudah berada diatas nilai EC_{50-24h} nya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya immobilisasi pada keseluruhan hewan uji selain dari efek sinergis yang dihasilkan campuran logam sehingga pencemaran logam berat pada sedimen diteluk jakarta berpotensi membahayakan bagi biota perairan khususnya biota yang memiliki sensitivitas sama dengan *Daphnia* khususnya di wilayah muara Kamal.

Dalam penelitian ini juga diujicobakan keempat logam Cr-Ni-Cd-As dengan konsentrasi masing – masing logam merujuk pada nilai EC_{50-24h} logam paling toksik dalam hal ini cadmium (Cd), dari data pengamatan Cd diketahui 50% *Daphnia magna* mengalami immobilisasi berada pada konsentrasi 1,5 $\mu\text{g/L}$ sehingga dibuat campuran Cr-Ni-Cd-As pada konsentrasi masing – masing logam adalah 1,5 $\mu\text{g/L}$. Setelah campuran diujikan selama 24 jam diperoleh data sebagai berikut

Tabel 4.24 Pengamatan toksisitas dari logam campuran

Pengulangan	Σ Mortalitas <i>Daphnia magna</i> (24 Jam)	
	Larutan Cd tunggal	Campuran Cd-Ni-Cr-As
I	5/10	6/10
II	5/10	6/10
% Mortalitas	50%	60%

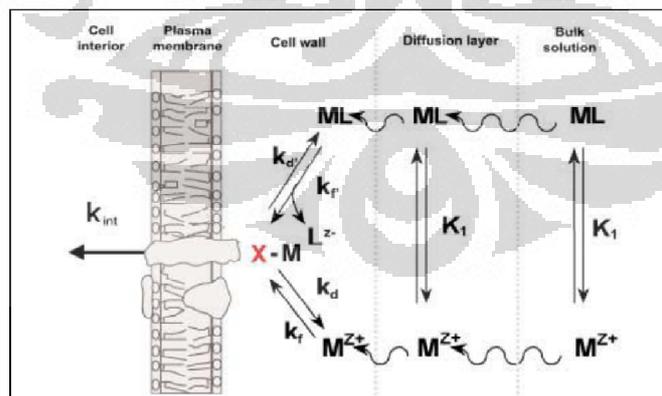


Gambar 4.13 Grafik uji toksisitas logam campuran

Dari hasil pengamatan dapat kita lihat bahwa terjadi peningkatan mortalitas dari 50% menjadi 60% *Daphnia* yang terimmobilisasi. Hal ini menunjukkan telah terjadinya efek sinergis dalam campuran Cd-Ni-Cr-As. Sama seperti pada campuran simulasi fraksi sedimen, logam Cd memiliki peran dominan dalam campuran ini kemudian Ni, As dan Cr yang keberadaannya meningkatkan toksisitas campuran. Cd menunjukkan efek paling toksik terhadap *Daphnia magna* karena Cd mudah diserap oleh beberapa organisme termasuk *Daphnia magna* (Nordic Council of Ministers Cadmium Review, 2003) Cd memainkan peran penting dalam beberapa proses yang menyebabkan terganggunya homeostasis seluler, seperti sebagai *oxidative stress* (Pinto *et al*, 2003.) dan kerusakan DNA (Badisa *et al.*, 2007).

4.5 Mekanisme masuknya logam berat

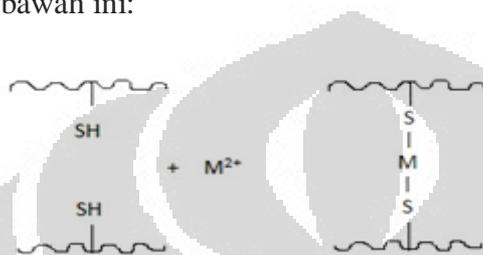
Logam berat masuk ke dalam tubuh *Daphnia magna* dapat melalui difusi pada permukaan kulit atau lewat mulut dengan mengkonsumsi oksigen yang terkontaminasi ataupun air dari medium yang diberi perlakuan. Ion logam yang diabsorpsi lewat gastrointestinal akan berdifusi pasif maupun aktif dan ditranspor menuju jaringan tertentu. Logam akan mengalami proses pinositosis oleh sel tubuh. Mekanisme absorpsi ini dapat digambarkan melalui model interaksi logam dan organisme sebagai berikut:



Gambar 4.14 Konsep model interaksi logam dengan organisme
(Sumber: Chambell, p (2002) dalam Suseno, Heni. 2007)

Ion logam yang masuk ke dalam tubuh akan ikut dalam proses fisiologis atau metabolisme. Logam berat akan berinteraksi dengan bermacam – macam unsur biologis. Interaksi yang terjadi antara logam berat dengan unsur biologis

dapat menyebabkan terganggunya fungsi sel yang bekerja dalam metabolisme. Akumulasi logam berat pada invertebrata dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu penyerapan logam, pendistribusian logam dalam tubuh, serta pelepasan logam (LaPoint dan Greg-Smith, 1993). Akumulasi dapat terjadi karena logam berat yang masuk ke dalam tubuh membentuk kompleks dengan bermacam – macam unsur biologis seperti asam amino pada protein. Interaksi logam berat dengan asam amino yang menyusun protein seperti sistein ditunjukkan seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.15 Model interaksi logam dengan sistein
(Sumber: Modifikasi Hall (1984) dalam Darmono (1995))

Logam yang tidak diakumulasi atau dimanfaatkan oleh tubuh akan diekskresikan melalui akhir saluran pencernaan atau permukaan tubuh (Darmono, 1995). Logam berat juga dapat terlarut dalam sel – sel yang terkandung dalam sel darah merah sehingga dapat ikut terbawa ke seluruh tubuh melalui peredaran darah. Namun, jika logam berat yang masuk ke dalam tubuh *Daphnia* tidak dapat diregulasi maka ion logam terus menerus terakumulasi dalam jaringan tubuhnya. Akumulasi logam berat ini bersifat toksik dan dapat mematikan biota tersebut.

4.6 Faktor fisika dan kimia selama penelitian

Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi kehidupan suatu organisme termasuk *Daphnia magna*. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pengukuran dan analisis beberapa parameter fisika dan kimia medium uji yang digunakan yaitu suhu, kadar oksigen terlarut (DO), dan derajat keasaman (pH). Menurut Hickling (dalam Radini *et al.*, 2004) bahwa suhu air mempengaruhi seluruh kegiatan dan proses reproduksi organisme akuatik. *Daphnia* dapat hidup selama 4 bulan pada suhu antara 22 – 32⁰C. Berdasarkan penelitian Radini *et al.* (2004), mengenai optimasi suhu pada pengkulturan *Daphnia magna* diperoleh bahwa terdapat peningkatan pertumbuhan *Daphnia sp* secara pesat pada suhu

28⁰C (365 ± 39 ekor/L) dibandingkan pada suhu air 25⁰C (100 ± 8 ekor/L). Mitchel (dalam Mitchel dan Almpert, 2000) menyatakan bahwa kepadatan *Daphnia* meningkat pada rentang suhu 29 – 32⁰C. Selama pengujian toksisitas akut baik pada pengujian *range finding test* maupun *definitive test* diperoleh rentang suhu antara 29 – 32⁰C, berdasarkan literatur rentang suhu ini masih berada pada rentang suhu optimum bagi kehidupan *Daphnia magna*.

Selain suhu, *Daphnia magna* juga memerlukan derajat keasaman (pH) yang sesuai untuk dapat hidup dan berkembang biak. *Daphnia magna* mampu hidup dalam kisaran pH 6,5 – 9,5 dengan nilai pH optimal antara 7,2 – 8,5 (Clare, 2002). Selama pengujian toksisitas akut, pH pada kontrol berkisar antara 7,0 -7,2 sedangkan pH dalam larutan uji sangat bervariasi. Untuk larutan uji logam berat Cd, pH berkisar antara 7,1 – 7,0 sedangkan larutan uji logam berat Ni antara 7,0 – 6,8. Larutan uji logam berat As antara 7,1 – 6,9, untuk larutan uji logam berat Pb antara 7,2 – 6,5 dan pada larutan uji logam berat Cr, pH berkisar antara 7,1 – 4,6. dari data ini dapat kita ketahui bahwa kisaran pH pada logam Cd, Ni, As, dan Pb masih berada pada kisaran pH dimana *Daphnia* dapat bertahan hidup sedangkan untuk logam Cr kisaran pH sampai pada pH 4,6 memungkinkan *Daphnia* akan terimmobilisasi kurang dari 24 jam. Hal ini karena Cr dalam bentuk Cr(NO₃)₃.9H₂O merupakan senyawa yang bersifat asam dengan pH ±2,7.

Kadar oksigen terlarut berpengaruh terhadap fisiologis organisme air seperti *Daphnia magna* terutama dalam proses respirasi. Kandungan oksigen terlarut bagi kehidupan *Daphnia* adalah 60 - 100% dari kandungan oksigen jenuh meskipun *Daphnia* memiliki toleransi untuk hidup di daerah dengan kualitas air yang rendah dengan tingkat oksigen terlarut dari nol mg/L sampai dengan saturasi maksimum. Konsentrasi maksimum DO dalam air tergantung pada suhu. Pada penelitian ini suhu ruangan adalah 30⁰C. Menurut Cole (1983) kandungan oksigen jenuh pada suhu 30⁰C adalah 7,56 mg/L. Nilai DO selama pengujian toksisitas akut kelima logam berkisar antara 7,3 – 4,9 mg/L. Rentang nilai DO ini masih berada pada rentang kandungan oksigen terlarut yang optimum bagi kehidupan *Daphnia magna*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

- Pada pengujian toksisitas akut selama 24 jam terhadap *Daphnia magna* diperoleh:
 - Nilai EC_{50-24h} logam berat Cd sebesar 1,663 $\mu\text{g/L}$ dengan 95% *confidence limit* pada rentang 1,266 – 2,049 $\mu\text{g/L}$.
 - Nilai EC_{50-24h} logam As sebesar 2,367 mg/L dengan 95% *confidence limit* pada rentang 2,141 – 2,650 mg/L.
 - Nilai EC_{50-24h} logam Cr sebesar 12,225 mg/L dengan 95% *confidence limit* pada rentang 9,554 – 15,211 mg/L.
 - Nilai EC_{50-24h} logam Ni sebesar 2,471 mg/L dengan 95% *confidence limit* pada rentang 1.149 – 3,618 mg/L.
- Dari nilai EC_{50-24h} yang diperoleh urutan toksisitas logam berat yaitu $\text{Cd}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{As}^{5+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Pb}^{2+}$
- Terjadi toksisitas campuran logam berat dari simulasi fraksi sedimen terhadap *Daphnia magna* yang mengakibatkan immobilisasi pada keseluruhan hewan uji.
- Terjadinya efek sinergis pada campuran logam berat Cd-Cr-Ni-As yang ditunjukkan dari adanya peningkatan % mortalitas pada *Daphnia magna* dibandingkan dengan logam Cd tunggal.
- Pencemaran logam berat yang terjadi di Teluk Jakarta berpotensi membahayakan bagi kehidupan biota akuatik di sekitarnya.
- Distribusi logam berat Cd di perairan Teluk Jakarta yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 8,99 - 10,11 mg/kg.
- Distribusi logam berat Cr di Teluk Jakarta yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 25,89 – 276,52 mg/kg.
- Distribusi logam berat Ni di Teluk Jakarta yang diperoleh dari penelitian ini berkisar antara 26,20 – 57,34 mg/kg.
- Distribusi logam berat Pb di Teluk Jakarta yang diperoleh dari penelitian ini berkisar antara 31,28 – 41,03 mg/kg.

- Distribusi logam berat As di Teluk Jakarta yang diperoleh dari penelitian ini berkisar antara 0,75 – 1,79 $\mu\text{g}/\text{gr}$

5.2 SARAN

- Untuk pengujian toksisitas akut sebaiknya digunakan laboratorium khusus yang terpisah dari laboratorium kimia.
- Untuk pengujian toksisitas akut logam berat Pb, perlu dicari komposisi *freshwater* yang tepat agar tidak terjadi reaksi pengendapan dan tidak menyebabkan kematian hewan uji pada kontrol.



DAFTAR PUSTAKA

- Adema, D. 1978. *Daphnia magna* a test animal in acute and chronic toxicity test. *Hydrobiologia*. 59: 125-134.
- Anderson, B.G. (1950) The apparent thresholds of toxicity to *Daphnia magna* for chlorides of various metals when added to Lake Erie water. *Serv. works J.*, 16: 96-113.
- Alloway, B.J. dan D.C. Ayres. 1993. *Chemical principles of environmental pollution*. Chapman & Hall, London
- Anuradha.V, Nair.S.M, Kumar.N.C. 2011. Humic acids from the sediments of three ecologically different estuarine systemsa comparison. *International Journal of Environmental Sciences* Volume 2, No 1.
- APHA. 2005. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 21 th ed. Washington DC:American Public Health
- Badisa, V.L.D., Latinwo, L.M.O., Caroline, O., Ikediobi, C.O.,Badisa, R.B., Ayuk-Takem, L.T., Nwoga, J. and West, J. 2007. Mechanism of DNA damage by cadmium and interplay of antioxidant enzymes and agents. *Environ. Toxicol.* 22: 144-215.
- Baudouin, M., F. & Scoppa, P. (1974) Acute toxicity of various metals to freshwater zooplankton. *Bull. environ. Contam. Toxicol.*, 121(6):745-751.
- Bryant, V., Newbery, D.M., Mcclusky, D.S. & Campbell, R. (1985). Effect of temperature and salinity on the toxicity of nickel and zinc to two estuarine invertebrates (*Corophium volutator*, *Macoma balthica*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 24(1-2): 139-153.
- Budiawan. 2007. *Laporan Studi Kajian Baku Mutu Sedimen Dasar Laut*. Pusat Kajian Resiko dan Keselamatan Lingkungan FMIPA UI Kerjasama dengan kementrian Negara Lingkungan Hidup.
- Budiawan, Khairani, N. 2010. *Modul Kuliah Toksikologi*. Depok: Departemen Kimia UI.
- Burton, E.D., Phillips, I. R & Hawker, D.W.2005. Geochemical Partirioning of Copper, Lead and Zinc in Benthic, Estuarine Sediment Profiles. *Journal of Environmental Quality* 34: 263-274.
- Boyle, R.W. (1981) Geochemistry of nickel. In: Effects of nickel in the Canadian environment, Ottawa, National Research Council of Canada, pp. 31-44 (Publication No. NRCC 18568).
- Braman RS & Foreback CC (1973) Methylated forms of arsenic in the environment. *Science*, 182: 1247–1249.
- Clare, J. 2002. *Daphnia : An Aquarist's Guide*. Version 3.2. [online]. Tersedia: [Http://caudata.org](http://caudata.org). [17 Januari 2012]
- Cooman, K., Debels, P., Gajardo, M., Urrutia, R. and Barra, R. 2005. *Use of Daphnia spp. for the ecotoxicological assessment of water quality in an agricultural watershed in South-Central Chile*. *Arch. Environ. Con. and Tox.* 48: 191-200.
- Cooper, N.L., Bidwell, J.R. and Kumar, A. 2009. *Toxicity of copper, lead, and zinc mixtures to Ceriodaphnia dubia and Daphnia carinata*. *Ecotox. Environ. Safe.* 72: 1523-1528.
- Darmono, 1995. *Logam dalam System Biologi Makhluk Hidup*. UI Press.

Jakarta

- Effendi, H. 2003. *Telaah kualitas air : Bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan*. Penerbit kanisius. Yogyakarta.
- Ebert D. 2005. Ecology, Epidemiology and Evolution of Parasitism in *Daphnia*. Tersedia: [Http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=Books](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=Books) (Diakses tanggal 8 juni 2012 pukul 20.00 WIB)
- EPA-Ohio, 2001, *Sediment Sampling Guide and Methodologies 2nd edition*, Environmental Protection Agency, state of Ohio.
- Geralwin. 2007. *Toksistas Akut Lumpur Sidoarjo terhadap Daphnia magna (Cladocerans: Crustaceae) dan ikan Nila (Oreochromis Niloticus L.) Strain Majalaya*. Bandung: ITB.
- Greenberg, A.E., Lenore, S.C., and Andrew, D.E.1992. *Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry in Standard Methods for Examination of Water and Waste Water*. 18th Edition . American Public Health Association, Washington.p:3-9.
- Greenberg, A.E., Lenore, S.C., and Andrew, D.E.1992. *Metals by Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry in Standard Methods for Examination of Water and Waste Water*. 18th Edition . American Public Health Association, Washington.p:3-28
- Hamidah. 1980. *Pengaruh Logam Berat terhadap Lingkungan*. *Pewarta Oceana*.6(2).
- Hanazato, T. 1998. Response of a zooplankton community to insecticide application in experimental ponds: a review and the implications of the effects of chemicals on the structure and functioning of freshwater communities. *Environ. Pollut.* 101(3): 361-373.
- H.P. Hutagalung, H. Razak, *Oceanologi di Indonesia* 15 (1982) 1.
- Hutagalung HP. 1984. *Logam Berat dalam Lingkungan Laut*. *Pewarta Oceana IX* No.1 Tahun 1984.
- Hutagalung, H.P. 1991. *Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta: 45 – 59.
- ISO. 1982. Water quality – Determination of the Inhibition of Mobility of *Daphnia magna* Strauss (Cladocerans–Crustaceae). Switzerland: Organization for standardization 1st ed. Geneva.
- Jenkins, D.W. (1980) Nickel accumulation in aquatic biota. In: Nriagu, J.O. ed. Nickel in the environment, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, John Wiley and Sons, pp. 283-337.
- Kusnoputranto, Haryoto. 1996. *Toksikologi Lingkungan*. Dirjen Dikti: Jakarta.
- Kantor Pengkajian Perkotaan dan Lingkungan Hidup. 1996. *Studi Potensi Kawasan Perairan Teluk Jakarta*.
- Langmore, *Minimum Requirement For Water Monitoring At Waste Management Facilities*, 2nd Edition, Departement Of Water Affairs And Forestry, Republic of South Africa, 1998.
- LaPoint, T., P.W. Greg-Smith. 1993. *Ecotoxicology of Metals in Invertebrata*. Edited by R. Dallinger and P.S. Rainbow, Lewis Publisher.
- Lestari, 2008. (Thesis) *Distribusi dan Partisi Geokimia Logam Berat dalam Sedimen Teluk Jakarta*. Depok: Universitas Indonesia.
- Miller, D.D., and Rutzke, M.A. 2003. *Atomic Absorption and Emission*

- Spectroscopy in Food analysis*. 3rd Edition. Purdue University West Lafayette, Indiana. Springer, New York. p: 401-421.
- Murphy, A manual for toxicity tests with freshwater macroinvertebrates and a review of the effects of specific toxicants, University of Wales Institute of Science and Technology Publication, 1979.
- OECD, 1984. *Daphnia* sp., *Acute Immobilisation Test and Reproduction Test : Guidelines for testing of chemical* (202). Washington DC.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan toksikologi logam berat*. Rineka cipta, Jakarta
- Pinto, E., Sigaud-Kutner, T.C.S., Leitao, M.A.S., Okamoto, O.K., Morse, D. and Colepicolo, P. 2003. Heavy metal-induced oxidative stress in algae. *J. Phycol.* 39: 1008-1018.
- Praseno DP dan Kastoro W. 1980. *Evaluasi Hasil Pemantauan Kondisi Perairan Teluk Jakarta 1975-1979*. LON-LIPI. Jakarta, h 1-7.
- Rand, G.M. & S.R. Petrocelli. 1985. *Fundamental Aquatic Toxicology*. Hemisphere, Washington: xii + 558 hlm.
- Riani, E. 2004. *Dampak Bahan Pencemar Terhadap Kecacatan dan Kepunahan Organisme Laut*. Fakultas Perikanan dan Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Richter, O.R. & Theis, T.L. (1980) *Nickel speciation in a soil/water system*. In: *Nriagu, J.O. ed. Nickel in the environment*, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, John Wiley and Sons, pp. 189-202.
- Sanusi H.S. 2006. *Kimia Laut: Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB, Bogor.
- Syahminan. 1996. *Studi Distribusi Pencemaran Logam Berat di Perairan Estuari Lingkungan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB, Bogor. *Sungai Siak, Riau*. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- S. Yatim, S. Surtipanti, S. Syamsu, E. Lubis, *Majalah Batan* No.12 (1979) 1.
- Tyas Rini S.1998. *Analisis Kadar Timah Hitam Dalam Darah dan Pengaruhnya Terhadap Aktivitas Enzim Delta Aminolevulinic Acid Dehidratase dan Kadar Haemoglobin Dalam Darah Karyawan di Industri Peleburan Timah Hitam*, Universitas Padjajaran Bandung.
- US-EPA, 1986. Acid digestion of sediment, sludge and soils in: Test methods for evaluating solid waste (SW-846) US Government Printing Office. Washington DC.
- Yeti Darmayanti. 1994. *Uji Toksisitas Akut Dengan Krustase dan Ikan*. PPPO – LIPI. Dwi Hindarti. 1997. *Metode Uji Toksisitas*. PPPO – LIPI.
- Zerbe, J., Sobczykński, T., Elbanowska, T., Siepak, J. 1999. Speciation of Heavy Metals in Bottom Sediments of Lakes. *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. 8, No. 5 (1999), 331-339.

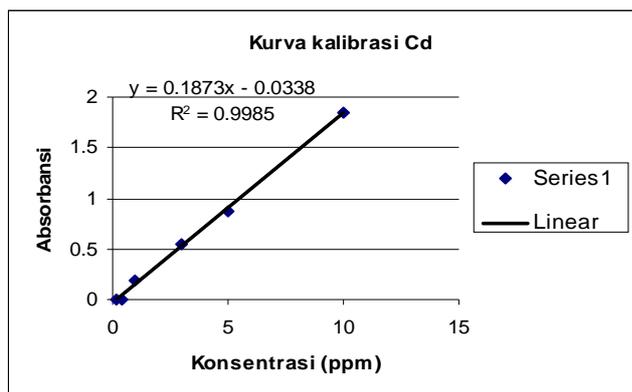
LAMPIRAN

Lampiran I: Kondisi Instrumentasi

Instrumentasi	: Flame AAS, shimadzu AA-6300 Flame AAS, shimadzu AA-6300 + HVG (khusus untuk Arsen)
Lampu	: Lampu Cadmium (Cd) Lampu Chromium (Cr) Lampu Nickel (Ni) Lampu Plumbum (Pb) Lampu Arsen (As)
Nyala udara	: Udara – asetilen Argon - asetilen
Detektor	: Photomultiplier
Panjang gelombang	: 228,8 nm (Cd) 232,0 nm (Ni) 193,7 nm (As) 217,0 nm (Pb) 357,9 nm (Cr)

Lampiran II : Kadar logam Cadmium (Cd) dalam sedimen

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0.2	0.0018
0.4	0.0045
1	0.1889
3	0.5534
5	0.8777
10	1.8421



Destruksi logam berat dalam sedimen						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	-0.0002	0.0004	0.0004	0.182594768	9.128825505	8.99
1b	-0.0002	-0.0006	-0.0006	0.177255739	8.859243275	
2a	-0.0002	0.0115	0.0115	0.241857982	12.08806387	10.78
2b	-0.0002	0.0017	0.0017	0.189535505	9.473933047	
3a	-0.0002	0.0048	0.0048	0.206086492	10.30226416	10.11
3b	-0.0002	0.0034	0.0034	0.198611853	9.928606911	

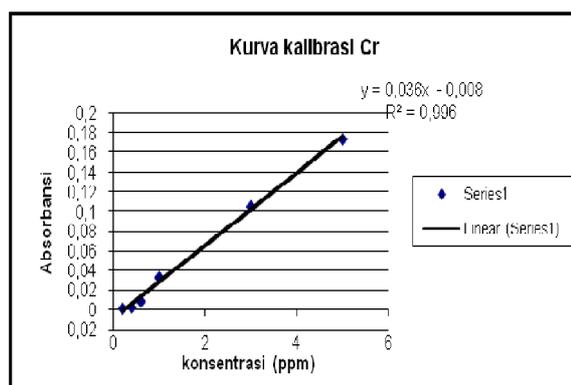
Ekstraksi pH 3						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0012	0.0014	0.0002	0.181526962	4.536359509	4.62
1b	0.0012	0.0027	0.0015	0.188467699	4.710279388	
2a	0.0012	0.0044	0.0032	0.197544047	4.938601175	4.87
2b	0.0012	0.0034	0.0022	0.192205019	4.802724105	
3a	0.0012	0.0044	0.0032	0.197544047	4.938601175	4.92
3b	0.0012	0.0042	0.003	0.196476241	4.908960657	

Ekstraksi pH 5						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0009	0.0015	0.0006	0.183662573	4.587435643	4.58
1b	0.0009	0.0013	0.0004	0.182594768	4.561676021	
2a	0.0009	0.0033	0.0024	0.193272824	4.82747588	4.82
2b	0.0009	0.0032	0.0023	0.192738922	4.814140312	
3a	0.0009	0.0012	0.0003	0.182060865	4.548337787	4.57
3b	0.0009	0.0015	0.0006	0.183662573	4.587435643	

Ekstraksi pH 7						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	-0.0002	0.0012	0.0012	0.18686599	4.668848451	4.7
1b	-0.0002	0.0017	0.0017	0.189535505	4.735073062	
2a	-0.0002	0.0025	0.0025	0.193806727	4.842262822	4.86
2b	-0.0002	0.0027	0.0027	0.194874533	4.868455402	
3a	-0.0002	0.0044	0.0044	0.203950881	5.095714595	5.1
3b	-0.0002	0.0045	0.0045	0.204484784	5.108543614	

Lampiran III: Kadar logam Chromium (Cr) dalam sedimen

kadar (ppm)	Absorbansi
0,2	0,0018
0,4	0,0031
0,6	0,0093
1	0,0333
3	0,1061
5	0,1738



Destruksi logam berat dalam sedimen						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0007	0.0141	0.0134	0.58423913	29.20027641	28.25
1b	0.0007	0.0127	0.012	0.546195652	27.30159213	
2a	0.0007	0.028	0.0273	0.961956522	48.07859465	46.45
2b	0.0007	0.0256	0.0249	0.89673913	44.82799092	
3a	0.0007	0.1884	0.1877	5.320652174	265.8730848	275.47
3b	0.0007	0.2025	0.2018	5.703804348	285.0761869	

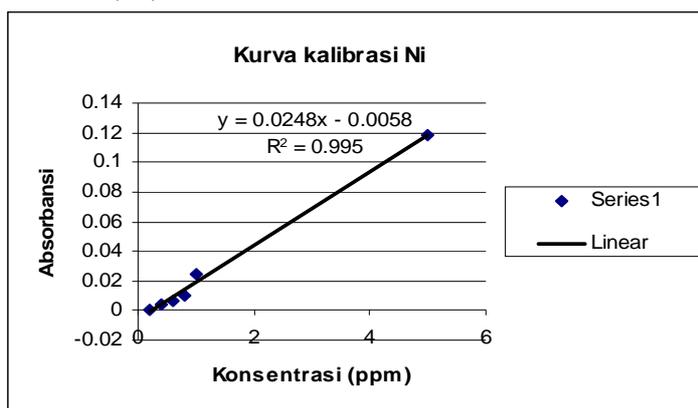
Ekstraksi pH 3						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0008	0.0086	0.0078	0.432065217	10.80055038	10.76
1b	0.0008	0.0085	0.0077	0.429347826	10.72940389	
2a	0.0008	0.0153	0.0145	0.614130435	15.34712202	15.42
2b	0.0008	0.0155	0.0147	0.619565217	15.48448509	
3a	0.0008	0.2728	0.272	7.611413043	190.2472766	175.15
3b	0.0008	0.2284	0.2276	6.404891304	160.0582593	

Ekstraksi pH 5						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0004	0.0053	0.0049	0.35326087	8.830638675	8.83
1b	0.0004	0.0053	0.0049	0.35326087	8.827990543	
2a	0.0004	0.0053	0.0049	0.35326087	8.827990543	8.96
2b	0.0004	0.0057	0.0053	0.364130435	9.10053071	
3a	0.0004	0.0056	0.0052	0.361413043	9.033519383	9.27
3b	0.0004	0.0063	0.0059	0.380434783	9.507066739	

Ekstraksi pH 7						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi(mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0009	0.005	0.0041	0.331521739	8.284729586	8.46
1b	0.0009	0.0055	0.0046	0.345108696	8.625992193	
2a	0.0009	0.007	0.0061	0.385869565	9.645774553	9.68
2b	0.0009	0.0071	0.0062	0.388586957	9.711760385	
3a	0.0009	0.0066	0.0057	0.375	9.371251499	9.92
3b	0.0009	0.0082	0.0073	0.418478261	10.46195652	

Lampiran IV : Kadar logam Nickel (Ni) dalam sedimen

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0.2	0.0009
0.4	0.0037
0.6	0.0065
0.8	0.0102
1	0.0241
5	0.1179



Destruksi logam berat dalam sedimen						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	-0.0019	0.007	0.007	0.516129032	25.79613316	26.2
1b	-0.0019	0.0074	0.0074	0.532258065	26.60492175	
2a	-0.0019	0.0174	0.0174	0.935483871	46.76484058	46.86
2b	-0.0019	0.0175	0.0175	0.939516129	46.94763787	
3a	-0.0019	0.0209	0.0209	1.076612903	53.80912151	57.34
3b	-0.0019	0.0244	0.0244	1.217741935	60.86275167	

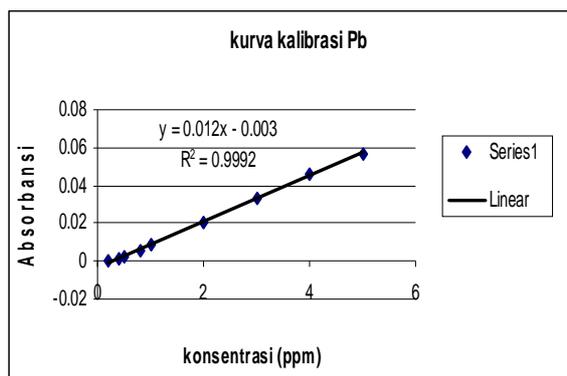
Ekstraksi pH 3						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	-0.001	-0.0013	-0.0013	0.181451613	4.533117141	3.12
1b	-0.001	-0.0041	-0.0041	0.068548387	1.712339806	
2a	-0.001	0.0097	0.0097	0.625	15.61407015	13.55
2b	-0.001	0.0056	0.0056	0.459677419	11.48734055	
3a	-0.001	0.0215	0.0215	1.100806452	27.50365909	27.7
3b	-0.001	0.0219	0.0219	1.116935484	27.90106624	

Ekstraksi pH 5						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0078	0.0051	-0.0027	0.125	3.122190029	2.62
1b	0.0078	0.0041	-0.0037	0.084677419	2.115454666	
2a	0.0078	0.015	0.0072	0.524193548	13.10090844	12.74
2b	0.0078	0.0143	0.0065	0.495967742	12.39175849	
3a	0.0078	0.0117	0.0039	0.391129032	9.770409479	11.13
3b	0.0078	0.0144	0.0066	0.5	12.49000799	

Ekstraksi pH 7						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	-0.0045	0.003	-0.0014	0.177419355	4.432824176	5.54
1b	-0.0045	0.0031	0.0008	0.266129032	6.648571806	
2a	-0.0045	0.0023	0.0028	0.346774194	8.666754812	9.72
2b	-0.0045	0.0024	0.0049	0.431451613	10.77982243	
3a	-0.0045	0.0002	0.0062	0.483870968	12.09314625	14.31
3b	-0.0045	0.0005	0.0106	0.661290323	16.52399607	

Lampiran V : Kadar logam Timbal (Pb) dalam sedimen

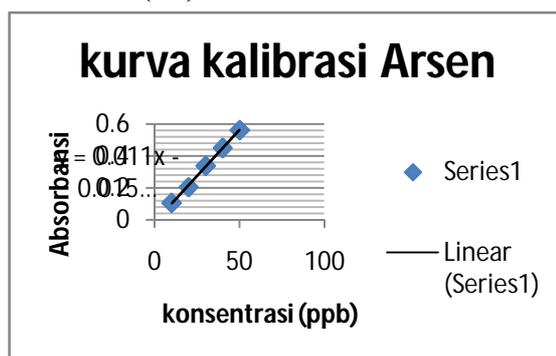
konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0.2	0.0004
0.4	0.0017
0.5	0.0027
0.8	0.0056
1	0.0091
2	0.0209
3	0.033
4	0.0458
5	0.0568



Destruksi logam berat dalam sedimen						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0017	0.0086	0.0069	0.825	41.2335066	41.03
1b	0.0017	0.0085	0.0068	0.816666667	40.82108701	
2a	0.0017	0.0068	0.0051	0.675	33.73987804	34.57
2b	0.0017	0.0072	0.0055	0.708333333	35.40604485	
3a	0.0017	0.0067	0.005	0.666666667	33.32000533	32.28
3b	0.0017	0.0062	0.0045	0.625	31.24062781	
Ekstraksi pH 3						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	-0.0029	0.0052	0.0052	0.683333333	17.08162517	16.87
1b	-0.0029	0.005	0.005	0.666666667	16.6600267	
2a	-0.0029	0.0072	0.0072	0.85	21.24787521	20.83
2b	-0.0029	0.0068	0.0068	0.816666667	20.40850327	
3a	-0.0029	0.0108	0.0108	1.15	28.74712529	28.43
3b	-0.0029	0.0105	0.0105	1.125	28.1137545	
Ekstraksi pH 5						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	-0.0016	0.0008	0.0008	0.316666667	7.915875079	7.91
1b	-0.0016	0.0008	0.0008	0.316666667	7.913501266	
2a	-0.0016	0.0006	0.0006	0.3	7.499250075	7.6
2b	-0.0016	0.0007	0.0007	0.308333333	7.705251233	
3a	-0.0016	0.0009	0.0009	0.325	8.124187581	8.96
3b	-0.0016	0.0017	0.0017	0.391666667	9.787751566	
Ekstraksi pH 7						
Sampel	Blanko	Absorbansi	Abs - blank	konsentrasi (mg/L)	kadar (mg/kg)	kadar rata - rata (mg/kg)
1a	0.0013	0.003	0.0017	0.391666667	9.787751566	9.89
1b	0.0013	0.0031	0.0018	0.4	9.9980004	
2a	0.0013	0.0023	0.001	0.333333333	8.330001333	8.44
2b	0.0013	0.0024	0.0011	0.341666667	8.539958675	
3a	0.0013	0.0002	-0.0011	0.158333333	3.956750633	4.27
3b	0.0013	0.0005	-0.0008	0.183333333	4.58241685	

Lampiran VI : Kadar logam Arsen (As) dalam sedimen

Konsentrasi (ppb)	Absorbansi
10	0,1059
20	0,2046
30	0,3374
40	0,4504
50	0,5617



Destruksi Logam Berat Pada Sedimen					
Sampel	Absorbansi	konsentrasi ($\mu\text{g/L}$)	berat sedimen (g)	kadar Logam ($\mu\text{g/g}$)	Kadar rata-rata ($\mu\text{g/g}$)
1a	0,2186	20,15517241	1,0003	1,007456384	1,008483186
1b	0,2191	20,19827586	1,0004	1,009509989	
2a	0,3094	27,98275862	1,0002	1,398858159	1,426078075
2b	0,3221	29,07758621	1,0004	1,453297991	
3a	0,3449	31,04310345	1,0004	1,551534559	1,552025662
3b	0,3452	31,06896552	1,0006	1,552516766	

Ekstraksi Logam Berat Pada Sedimen menggunakan Fraksi pH 3					
Sampel	Absorbansi	konsentrasi ($\mu\text{g/L}$)	berat sedimen (g)	kadar Logam ($\mu\text{g/g}$)	Kadar rata-rata ($\mu\text{g/g}$)
1a	0,0077	1,974138	1,0007	0,049318925	0,049639479
1b	0,008	2,000000	1,0008	0,049960032	
2a	0,0116	2,310345	1,0004	0,057735526	0,058049922
2b	0,0119	2,336207	1,0007	0,058364317	
3a	0,0089	2,077586	1,0008	0,051898137	0,049857137
3b	0,007	1,913793	1,0006	0,047816138	

Ekstraksi Logam Berat Pada Sedimen menggunakan Fraksi pH 5					
Sampel	Absorbansi	konsentrasi ($\mu\text{g/L}$)	berat sedimen (g)	kadar Logam ($\mu\text{g/g}$)	Kadar rata-rata ($\mu\text{g/g}$)
1a	0,01931	2,975	1,0009	0,074308123	0,076921483
1b	0,02173	3,18362069	1,0007	0,079534843	
2a	0,02503	3,468103448	1,0003	0,086676583	0,090949811
2b	0,02901	3,811206897	1,0006	0,095223039	
3a	0,02531	3,492241379	1,0008	0,087236245	0,08534121
3b	0,02355	3,340517241	1,0008	0,083446174	

Ekstraksi Logam Berat Pada Sedimen menggunakan Fraksi pH 7					
Sampel	Absorbansi	konsentrasi ($\mu\text{g/L}$)	berat sedimen (g)	kadar Logam ($\mu\text{g/g}$)	Kadar rata-rata ($\mu\text{g/g}$)
1a	0,00509	1,749137931	1,0006	0,043702227	0,04513223
1b	0,00642	1,863793103	1,0007	0,046562234	
2a	0,01561	2,656034483	1,0003	0,066380948	0,069698741
2b	0,0187	2,922413793	1,0006	0,073016535	
3a	0,009656	2,142758621	1,0003	0,0535529	0,057423842
3b	0,013255	2,453017241	1,0005	0,061294784	

Lampiran VII : Verifikasi metode logam berat

1. Timbal (Pb)

Persamaan kurva kalibrasi : $y = 0.012x - 0.003$

Regresi (R^2) = 0.9992

Konsentrasi ($\mu\text{g/ml}$)	Absorbansi (y)	Absorbansi (y')	y - y'	(y - y') ²
0.2	0.0004	-0.0006	0.001	0.000001
0.4	0.0017	0.0018	-0.0001	1E-08
0.5	0.0027	0.003	-0.0003	9E-08
0.8	0.0056	0.0066	-0.001	0.000001
1	0.0091	0.009	1E-04	1E-08
2	0.0209	0.021	-0.0001	1E-08
3	0.033	0.033	0	0
4	0.0458	0.045	0.0008	6.4E-07
5	0.0568	0.057	-0.0002	4E-08
				0.0000028

$b = 0.012$

$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n-2}} = 6.324555E-04$

$LOD = 3 * S_y/b = 0.1581 \mu\text{g/mL}$

$LOQ = 10 * S_y/b = 0.5270463 \mu\text{g/mL}$

2. Chromium (Cr)

Persamaan kurva kalibrasi : $y = 0.0363x - 0.0061$

Regresi (R^2) = 0.9952

Konsentrasi ($\mu\text{g/ml}$)	Absorbansi (y)	Absorbansi (y')	y - y'	(y - y') ²
0.2	0.0001	0.01336	-0.01326	0.00017583
0.4	0.0018	0.02062	-0.01882	0.00035419
0.6	0.0093	0.02788	-0.01858	0.00034522
1	0.0333	0.0424	-0.0091	8.281E-05
3	0.1061	0.115	-0.0089	7.921E-05
5	0.1738	0.1876	-0.0138	0.00019044
				0.0012277

$$b = 0.0363$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n-2}} = 0.0175193$$

$$\text{LOD} = 3 * S_y/b = 1.447874 \mu\text{g/mL}$$

$$\text{LOQ} = 10 * S_y/b = 4.8262466 \mu\text{g/mL}$$

3. Nikel (Ni)

Persamaan kurva kalibrasi : $y = 0.0248x - 0.0058$

Regresi (R^2) = 0.995

Konsentrasi ($\mu\text{g/ml}$)	Absorbansi (y)	Absorbansi (y')	y - y'	(y - y') ²
0.2	0.0009	0.01076	-0.00986	9.722E-05
0.4	0.0037	0.01572	-0.01202	0.00014448
0.6	0.0065	0.02068	-0.01418	0.00020107
0.8	0.0102	0.02564	-0.01544	0.00023839
1	0.0241	0.0306	-0.0065	0.00004225
5	0.1179	0.1298	-0.0119	0.00014161
				0.00086503

$$b = 0.0248$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n-2}} = 0.0147057696$$

$$\text{LOD} = 3 * S_y/b = 1.77891 \mu\text{g/mL}$$

$$\text{LOQ} = 10 * S_y/b = 5.9297458 \mu\text{g/mL}$$

4. Cadmium (Cd)

Persamaan kurva kalibrasi : $y = 0.1873x - 0.0338$

Regresi (R^2) = 0.9985

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi	Absorbansi (y')	y - y'	(y - y') ²
0.2	0.0018	0.00366	-0.00186	3.4596E-06
0.4	0.0045	0.04112	-0.03662	0.00134102
1	0.1889	0.1535	0.0354	0.00125316
3	0.5534	0.5281	0.0253	0.00064009
5	0.8777	0.9027	-0.025	0.000625
10	1.8421	1.8392	0.0029	8.41E-06
				0.00387114

b : 0.1873

$S_y = \sqrt{\sum (y - y')^2 / n - 2} = 0.031109243$

LOD = 3 * $S_y / b = 0.4982794 \mu\text{g/L}$

LOQ = 10 * $S_y / b = 1.66093 \mu\text{g/L}$

5. Arsen (As)

Persamaan kurva kalibrasi : $y = 0.0118x - 0.0217$

Regresi (R^2) = 0.9981

Konsentrasi ($\mu\text{g/l}$)	Absorbansi (y)	Absorbansi (y')	y - y'	(y - y') ²
10	0.1059	0.0963	0.0096	9.216E-05
20	0.1965	0.2143	-0.0178	0.00031684
30	0.3374	0.3323	0.0051	2.601E-05
40	0.4504	0.4503	0.0001	1E-08
50	0.5617	0.5683	-0.0066	4.356E-05
60	0.6874	0.6863	0.0011	1.21E-06
				0.00047979

b = 0.0118

$S_y = \sqrt{\sum (y - y')^2 / n - 2} = 0.010952054$

LOD = 3 * $S_y / b = 2.78442 \mu\text{g/L}$

LOQ = 10 * $S_y / b = 9.281402 \mu\text{g/L}$

Lampiran VIII Pengamatan sifat fisik kimia



a) Peterson Grab sampler

b) Refraktometer

c) GPS

Gambar sedimen kering



a) Sedimen Muara Angke

b) Sedimen Pantai indah Kapuk

c) Muara Kamal

Gambar selama destruksi



Lampiran IX Pengamatan sifat fisik kimia

1. Uji Toksisitas Akut Cadmium (Cd)

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan Cd^{2+} pada *Range finding test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Cd^{2+}			
	Kontrol	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
Suhu	32°C	32°C	32°C	32°C
pH	7,1	7,1	6,9	6,5
DO(mg/l)	5,5	5,9	5,6	5,9
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan Cd^{2+} pada *Definitive test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Cd^{2+}					
	kontrol	0,1 mg/L	0,3 mg/L	0,5 mg/L	0,7 mg/L	0,9 mg/L
Suhu	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C
pH	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
DO (mg/l)	6,0	6,3	6,1	6,6	6,3	6,4
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h	24h

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Cd^{2+}				
	kontrol	20 ppb	40 ppb	60 ppb	80 ppb
Suhu	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C
pH	7,1	7,1	7,1	7,1	7,0
DO (mg/l)	6,9 – 5,2	6,9 – 5,2	6,9 – 5,2	6,9 – 5,2	6,9 – 5,2
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Cd^{2+}						
	Kontrol	5 ppb	10 ppb	15 ppb	20 ppb	25 ppb	30 ppb
Suhu	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C
pH	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
DO (mg/l)	7,0 - 5,4	7,0 - 5,4	7,0 - 5,4	7,0 - 5,4	7,0 - 5,4	7,0 - 5,4	7,0 - 5,4
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h	24h	24h

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Cd^{2+}					
	kontrol	0,5 ppb	1,5 ppb	2,5 ppb	3,5 ppb	4,5 ppb
Suhu	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C
pH	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
DO (mg/l)	7,2 – 6,0	7,2 – 6,0	7,2 – 6,0	7,2 – 6,0	7,2 – 6,0	7,2 – 6,0
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h	24h

2. Uji Toksisitas Akut Arsen (As)

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan As^{5+} pada *Range finding test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan As^{5+}				
	kontrol	0,1 mg/L	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
Suhu	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C	29 ⁰ C
pH	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
DO (mg/l)	7,3 – 5,9	7,3 – 5,9	7,3 – 5,9	7,3 – 5,9	7,3 – 5,9
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan As^{5+} pada *Definitive test*

Rerata faktor Fisik dan kimia	Konsentrasi larutan As^{5+}				
	kontrol	2 mg/L	4 mg/L	6 mg/L	8 mg/L
Suhu	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C
pH	7,0	6,9	6,9	6,9	6,9
DO (mg/l)	7,3 – 5,8	7,3 – 5,8	7,3 – 5,8	7,3 – 5,8	7,3 – 5,8
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h

Rerata faktor Fisik dan kimia	Konsentrasi larutan As^{5+}				
	kontrol	1,2 mg/L	1,4 mg/L	1,6 mg/L	1,8 mg/L
Suhu	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C
pH	7,1	7,1	7,1	7,0	7,0
DO (mg/l)	7,0 – 4,9	7,0 – 4,9	7,0 – 4,9	7,0 – 4,9	7,0 – 4,9
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h

3. Uji Toksisitas Akut Nikel (Ni^{2+})

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan Ni^{2+} pada *Range finding test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Ni^{2+}			
	Kontrol	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
Suhu	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C
pH	7,0	7,0	6,9	6,8
DO (mg/l)	6,7 mg/l	6,2 mg/l	6,4 mg/l	6,2 mg/l
Waktu pemaparan	24 jam	24 jam	24 jam	24 jam

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan Ni^{2+} pada *Definitive test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Ni^{2+}				
	kontrol	2 mg/L	4 mg/L	6 mg/L	8 mg/L
Suhu	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C
pH	7,2	7,2	7,2	7,1	7,1
DO (mg/l)	6,5 – 5,0	6,5 – 5,0	6,5 – 5,0	6,5 – 5,0	6,5 – 5,0
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h

4. Uji Toksisitas Akut Chromium (Cr^{3+})

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan Cr^{3+} pada *Range finding test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Cr^{3+}			
	Kontrol	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
Suhu	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C	31 ⁰ C
pH	7,1	7,1	6,9	4,6
DO (mg/l)	5,9 – 5,5	5,9 – 5,5	5,9 – 5,5	5,9 – 5,5
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan Cr^{3+} pada *Definitive test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Cr^{3+}				
	kontrol	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	80 mg/L
Suhu	31,5 °C	31,5 °C	31,5 °C	31,5 °C	31,5 °C
pH	7,0	5,2	5,0	4,9	4,7
DO (mg/l)	5,6 - 5,9	5,6 - 5,9	5,6 - 5,9	5,6 - 5,9	5,6 - 5,9
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Cr^{3+}				
	kontrol	5 mg/L	15 mg/L	25 mg/L	35 mg/L
Suhu	30 °C	30°C	30°C	30 °C	30 °C
pH	7,0	7,0	6,9	6,7	6,4
dissolved oxygen	6,7 - 5,4	6,7 - 5,4	6,7 - 5,4	6,7 - 5,4	6,7 - 5,4
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h

5. Uji Toksisitas Akut Timbal (Pb^{2+})

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan Pb^{2+} pada *Range finding test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Pb^{2+}		
	1 mg/L	10 mg/L	100 mg/L
Suhu	31°C	31°C	31°C
pH	6,7	6,4	6,3
dissolved oxygen	7,4	7,2	7,6
Waktu pemaparan	24 jam	24 jam	24 jam

Hasil pengamatan faktor fisik kimia larutan Pb^{2+} pada *Definitive test*

Rerata faktor fisik dan kimia	Konsentrasi larutan Pb^{2+}				
	Kontrol	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	80 mg/L
Suhu	29°C	29°C	29°C	29°C	29°C
pH	7,1	6,6	6,4	5,7	5,5
dissolved oxygen	7,1	7,3	7,4	7,4	7,2
Waktu pemaparan	24h	24h	24h	24h	24h

Lampiran X: Pengamatan selama uji toksisitas

a) Saat uji toksisitas



b) Pengamatan Mortalitas

c) Kumpulan *Daphnia magna*