

**KONSENTRASI LOGAM BERAT TIMBEL (Pb), KADMIUM
(Cd), dan TEMBAGA (Cu) PADA BERBAGAI UKURAN
KERANG DARAH (*Anadara granosa*)
DI PERAIRAN TELUK LOSARI MAKASSAR**

SKRIPSI

**Oleh :
SRI WULANDARI**



**KONSENTRASI KONSERVASI SUMBERDAYA HAYATI LAUT
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2008**

ABSTRAK

Sri Wulandari. L111 04 015. "Konsentrasi Logam Berat Timbel (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Teluk Losari Makassar". Di bawah bimbingan Farid Samawi sebagai pembimbing utama dan Shinta Werorilangi sebagai pembimbing anggota.

Beberapa tahun terakhir, buangan limbah yang mengandung logam berat ke perairan Teluk Losari semakin meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas penduduk dan perkembangan industri. Beberapa jenis logam berat menjadi racun apabila terdapat dalam konsentrasi di atas normal seperti yang terdapat di alam. Jenis logam berat seperti timbel (Pb) dan kadmium (Cd) tidak dibutuhkan dalam proses metabolisme tetapi justru merupakan bahan pencemar yang berbahaya. Tembaga (Cu) yang bersifat esensial juga dapat bersifat toksik apabila masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar atau melebihi batas toleransi organisme tersebut. Semakin tingginya kandungan logam berat di perairan akan mempengaruhi akumulasi logam berat pada biota, termasuk kerang darah (*Anadara granosa*). Akibatnya konsumsi kerang darah (*A. granosa*) yang mengandung logam berat sangat berbahaya bagi kesehatan manusia.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui konsentrasi logam berat Pb, Cd, dan Cu pada kerang darah (*A. granosa*) dengan ukuran berbeda di perairan Teluk Losari Kota Makassar, (2) mengetahui tingkat kemampuan akumulasi logam berat terhadap kerang darah (*A. granosa*) berdasarkan ukuran, dan (3) mengetahui kelayakan konsumsi kerang darah (*A. granosa*) yang terdapat di perairan Teluk Losari.

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Juni sampai Agustus 2008. Lokasi pengambilan sampel bertempat di perairan Teluk Losari Makassar, dan analisis kandungan logam berat dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar. Untuk menguji perbandingan kandungan logam pada kerang darah (*A. granosa*) digunakan analisis sidik ragam (ANOVA), dengan uji lanjut bonferroni. Untuk menguji perbedaan kandungan logam berat berdasarkan ukuran kerang digunakan uji *T-student*. Semua hasil kemudian dipresentasikan dalam bentuk gambar dan tabel yang dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan Standar Maksimum Logam Berat dalam Makanan menurut FAO (1972 dalam Jumariyah, 2001) dan Dirjen POM (1989).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat konsentrasi logam berat pada kerang darah (*A. granosa*) baik yang berukuran besar maupun yang berukuran kecil berturut-turut dari tinggi ke rendah adalah kadmium, timbel, dan tembaga (Cd>Pb>Cu); ukuran kerang darah (*A. granosa*) tidak mempengaruhi kemampuan mengakumulasi logam berat; dan kerang darah (*A. granosa*) yang terdapat di perairan Teluk Losari Makassar telah melewati batas aman oleh FAO dan POM sehingga tidak layak untuk dikonsumsi.

Kata kunci : logam berat, Pb, Cd, Cu, kerang darah (*A. granosa*)

KONSENTRASI LOGAM BERAT TIMBEL (Pb), KADMIUM
(Cd), dan TEMBAGA (Cu) PADA BERBAGAI UKURAN
KERANG DARAH (*Anadara granosa*)
DI PERAIRAN TELUK LOSARI MAKASSAR



Oleh :
SRI WULANDARI

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Pada
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan

KONSENTRASI KONSERVASI SUMBERDAYA HAYATI LAUT
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2008

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Konsentrasi Logam Berat Timbel (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Teluk Losari Makassar

Nama : Sri Wulandari

No. Pokok : L111 04 015

Program Studi : Ilmu Kelautan

Skripsi telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Utama,

Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Sc
NIP. 131 965 080

Pembimbing Anggota,

Ir. Shinta Werorilangi, M.Sc
NIP. 131 964 655

Mengetahui,



Dekan Fakultas
Ilmu Kelautan dan Perikanan,

Prof. Dr. Ir. H. Sudirman, MP.
NIP. 131 860 849



Ketua Program Studi
Ilmu Kelautan

Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Sc
NIP. 131 965 080

Tanggal Lulus : 25 Nopember 2008

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Sri Wulandari dilahirkan di Sengkang pada tanggal 2 Desember 1986, adalah anak pertama dari 3 bersaudara buah hati pasangan Bapak Ir. **Amiruddin Faizal** dan Ibu **Tenri Jaja BSc**. Pendidikan penulis diawali dengan pendidikan dasar di TK Chandra Kirana Bulukumba, pada tahun 1992 menduduki bangku Sekolah Dasar di SDN Inpres Kampus Unhas Tamalanrea Makassar, pada tahun 2001 lulus dari SMPN 2 Watansoppeng dan tahun 2004 penulis lulus dari SMAN 1 Watansoppeng. Pada tahun yang sama pula, penulis diterima sebagai mahasiswa jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin melalui jalur Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB).

Selama menjalani bangku kemahasiswaan, penulis pernah aktif di kepengurusan Musholla Bahrul Ulum pada periode 2005/2006 dan sebagai Koordinator Divisi Info dan Data pada Marine Science Study Club (MSC) periode 2007/2008. Penulis juga pernah menjadi asisten Ekologi Perairan pada tahun 2006 dan 2008, asisten Botani Laut pada tahun 2007 dan 2008, asisten Fisiologi Hewan Air pada tahun 2007, Asisten Planktonologi Kelautan pada tahun 2008, Asisten Vertebrata Laut pada tahun 2007, Asisten Mikrobiologi Laut pada tahun 2008 dan asisten Kawasan Perlindungan Laut pada tahun 2008. Selain itu, penulis pernah menjadi tenaga pengajar di Bimbingan Belajar Gajah Mada selama 3 tahun.

Serangkaian kegiatan yang dilalui dalam tahap penyelesaian akhir masa studi yaitu dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ajakkang Kecamatan Soppeng Riaja Kabupaten Barru pada tahun 2007, Praktek Kerja Lapang (PKL) di Lembaga Maritim Nusantara (LEMSA) pada tahun 2008, dan yang terakhir penulis menulis skripsi yang berjudul "**Konsentrasi Logam Berat Timbel (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Peraliran Teluk Losari Makassar**".

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah sebagai salah satu bentuk kesadaran vertikal, selaku insan dhaif layaknya kita menyatakan kesyukuran kepada sang khalik Allah Azza Wajalla atas pancaran nur hidayah-Nya yang mengilhami penulis dalam menyelesaikan skripsi berjudul **“Konsentrasi Logam Berat Timbel (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Teluk Losari Makassar”**.

Dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini terdapat berbagai kendala yang dihadapi. Namun segala proses tersebut dapat dijalani dengan bimbingan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak. Dengan rampungnya salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Program studi Ilmu Kelautan ini penulis menghaturkan doa agar segala kebahagiaan dan kemuliaan dilimpahkan kepada Ayahanda **Ir. Amiruddin Faizal** serta Ibunda **Tenri Jaja BSc** dengan segala kasih sayang dan kesabarannya memberikan dukungan baik moril, materil maupun doa restunya kepada penulis. Tak lupa pula untuk adik-adikku **Rifka Abriati** dan **Rezki Pratiwi** yang selalu memberi ceria yang tiada habisnya, serta kepada **k' Adnan** yang memberikan motivasi dan masukan kepada penulis dari titik awal menapaki kelautan hingga titik akhir masa penyelesaian studi di siluet biru.

Penulis juga menghaturkan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya dengan segala keikhlasan hati kepada :

1. Bapak **Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Si** dan Ibu **Ir. Shjinta Werorilangi M.Sc** selaku pembimbing yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan penulis selama ini.

2. Bapak Prof. Dr. H. Akbar Tahir M.Sc, Ibu Dr. Ir. Rohani Ambo Rappe, M.Si dan Ibu Ir. Arniati M.Si selaku penguji yang telah berkenan mengarahkan dan memberi saran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Ir. Arniati M.Si dan Bapak Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Si selaku penasehat akademik selama penulis menjalani keseharian sebagai mahasiswa.
4. Bapak Prof. Dr. A. Iqbal Burhanuddin ST, M.Fish.Sc selaku Ketua Jurusan Ilmu Kelautan dan seluruh bapak dan ibu dosen serta para staf jurusan yang mewadahi penulis dalam menyelesaikan studinya.
5. Ibu Rofika SKM dan bapak Ir. Hasan Lampe serta staf Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar yang memberikan bantuan dan arahannya.
6. Saudara seperjuangan Gulam Arafat, Dwi Fajriyati Inaku dan Marhayana serta Ince Muhammad Idham atas semangat, bantuan dan dorongannya kala penulis membutuhkannya.
7. Bro dan Sista 04 crew: Kemal, Fakhri, Mamet, Atox, Armand, Samrul, Zujad, Imad, Ari, Fredrik, Musta, Hasrul, Ardi, Cundink, BK, Aprisal, Tiar, Iswadi, Cacank, Ilo', Yakub, Uci, Dian, Wilmo, Risma, Adry, Vyra, Yane, Cia, Cendol, Jummy, Salwa, Jyha, Ikha dan Dya serta Ririe'06 atas bantuan dan canda tawanya yang menghiasi dan membahana di koridor kelautan, terima kasih atas anugerah persaudaraan yang indah ini.
8. Kanda Andi Muammar sebagai partner penelitian yang telah menemani dan memberikan masukan kepada penulis selama penelitian berlangsung hingga proses penyusunan skripsi ini, serta memberikan kesempatan untuk menggunakan data hasil penelitiannya sebagai data pendukung.



9. Kanda **Ondi Faturrahman**, Kanda **Ridwan Salim S.Kel**, Kanda **Yasser Arafat S.Kel**, Kanda **Muhammad Idhan S.Kel**, Kanda **Irwan Sofyan S.Kel**, Kanda **Cahyadi Rasyid ST** serta kakanda di Nypah dan di LEMSA atas segala bantuan, bimbingan dan arahnya.
10. K' **Tia**, K' **Hasnah**, K' **Suri**, Pak **Kadir**, Ibu **Aji Rahmatiah**, K' **Nita**, K' **Yayi**, **Aci'** dan **Cabu'** yang telah banyak membantu penulis dalam hal penyelesaian administrasi.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Tahap demi tahap penulis lalui dengan izin Allah SWT serta dukungan dan dorongan dari semua pihak sehingga skripsi dapat terselesaikan, segala upaya dengan segala keterbatasan penulis yang telah dilalui memberikan banyak pelajaran yang tak ternilai namun penulis sangat menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan penulis berharap dapat memberikan manfaat bagi kita semua terutama diri pribadi penulis. Amin...

Makassar, Nopember 2008

Sri Wulandari

DAFTAR ISI

Teks	Halaman
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Dan Kegunaan	3
C. Ruang Lingkup.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Klasifikasi dan Deskripsi Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>).....	4
B. Logam Berat.....	5
C. Timbel (Pb).....	8
D. Kadmium (Cd).....	11
E. Tembaga (Cu).....	13
F. Akumulasi Logam dalam Kerang	14
G. Tingkat Konsentrasi Logam Berat Berdasarkan Ukuran Kerang darah (<i>A. granosa</i>).....	21
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat	22
B. Alat dan Bahan	22
C. Prosedur Penelitian	23
D. Analisis Data.....	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Kadmium (Cd).....	30
B. Timbel (Pb).....	35
C. Tembaga (Cu).....	38
V. SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	42
B. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Konsentrasi Logam Berat (dalam $\mu\text{g/g}$ berat kering) pada Makrofauna Bentik dalam Skala Dunia	4

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i> L)	4
Gambar 2. Proses Penyerapan Logam Berat oleh Tumbuhan dan Sedimen (Enviromental Protection Agency, 1973 dalam Kunarso dan Ruyitno, 1991)	6
Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian	24
Gambar 4. Hasil ANOVA terhadap Konsentrasi Logam Berat pada Kerang Darah (<i>A. granosa</i>) (huruf yang sama tidak menunjukkan adanya perbedaan pada $\alpha = 0,05$).....	29
Gambar 5. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (<i>A. granosa</i>) (huruf yang sama tidak menunjukkan adanya perbedaan pada $\alpha = 0,05$)	33
Gambar 6. Konsentrasi Logam Berat Timbel (Pb) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (<i>A. granosa</i>) (huruf yang sama tidak menunjukkan adanya perbedaan pada $\alpha = 0,05$)	37
Gambar 7. Konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (<i>A. granosa</i>) (huruf yang sama tidak menunjukkan adanya perbedaan pada $\alpha = 0,05$)	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Data Panjang Kerang Darah (<i>A. granosa</i>) sebagai Hewan uji (dalam mm)	47
Lampiran 2. Data Mentah Konsentrasi Logam Berat yang Sesungguhnya (dalam ppm)	47
Lampiran 3. Hasil Analisis Sidik Ragam (One-way ANOVA) $\alpha = 0,05$	48
Lampiran 4. Hasil Uji <i>T-student</i> untuk Logam Berat Kadmium (Cd)	52
Lampiran 5. Hasil Uji <i>T-student</i> untuk Logam Berat Timbel (Pb)	53
Lampiran 6. Hasil Uji <i>T-student</i> untuk Logam Berat Tembaga (Cu)	54

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perairan Teluk Losari Makassar merupakan salah satu kawasan perairan dengan aktivitas pemanfaatan ruang dan sumber daya pesisir yang cukup tinggi. Perairan teluk ini memiliki fungsi sebagai media perhubungan dan pariwisata sehingga rawan terhadap dampak lingkungan berupa pencemaran. Sumber pencemaran di perairan Teluk Losari berasal dari limbah rumah tangga, limbah cair pemukiman, aktivitas dermaga, limbah perhotelan dan lain-lain. Semakin meningkatnya limbah yang masuk ke perairan mengakibatkan peningkatan kadar logam berat dan bahan pencemar lainnya.

Sejalan dengan hasil penelitian Bappedal Sulsel (2000) *dalam* Fachruddin dan Nurdin (2002), menunjukkan bahwa tingkat pencemaran di sepanjang Pantai Losari Makassar termasuk di Teluk Losari setiap tahun meningkat sejak tahun 1997, bahkan beberapa unsur seperti kadmium (Cd) dan timbel (Pb) telah melewati ambang batas baku mutu lingkungan hidup. Hal ini disebabkan karena di sepanjang Pantai Losari terdapat sekitar 20 saluran limbah perkotaan yang setiap hari mengalirkan limbah kota. Ramlan (2000) *dalam* Fachruddin dan Nurdin (2002) juga menemukan bahwa tingkat pencemaran perairan di sekitar reklamasi Pantai Losari tergolong kategori tercemar sedang sampai berat.

Keberadaan logam berat dalam lingkungan perairan menimbulkan kekhawatiran, karena logam-logam tersebut bersifat toksik dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia. Logam berat seperti Pb, Cd, dan Cu merupakan bahan pencemar yang potensial berada di sekitar kawasan pantai dan merupakan kontaminan-kontaminan umum dari limbah-limbah industri.

Logam berat Pb, Cd, dan Cu sangat berbahaya karena kemampuannya untuk terakumulasi di perairan khususnya pada biota yang hidup cukup tinggi. Apabila logam tersebut terdapat dalam suatu jaringan, konsentrasinya akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya Pb, Cd, dan Cu dalam lingkungan. Akumulasi logam berat pada daerah-daerah yang rentan terhadap pembuangan limbah akan menyebabkan perairan tersebut tercemar.

Secara umum, kandungan bahan pencemar dapat diketahui dengan bioindikator yaitu jenis organisme tertentu yang khas, yang dapat mengakumulasi bahan-bahan yang ada sehingga dapat mewakili habitatnya (Pikir) 1993 dalam Kurnianta (2002). Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan salah satu organisme air yang hidup menetap, bersifat *filter feeder* dan mampu berkembang biak pada tekanan ekologis tinggi. Sesuai dengan sifatnya ini maka dalam pertumbuhannya kerang darah dapat mengakumulasi logam berat dalam tubuhnya, apabila hidup pada perairan yang terkontaminasi oleh logam berat. Menurut Amin (2002) bahwa ukuran kerang darah (*A. granosa*) tidak memberi pengaruh besar terhadap kandungan logam berat. Kerang ini mempunyai nilai ekonomis dan sering diperdagangkan di sekitar Teluk Losari. Selain itu kerang juga dapat merupakan salah satu mata rantai masuknya logam Pb, Cd dan Cu ke dalam tubuh manusia. Kerang darah (*A. granosa*) yang mengandung logam berat dan dikonsumsi terus-menerus menyebabkan logam tersebut dapat bertahan di dalam tubuh (bersifat persisten) dan terakumulasi sedikit-demi sedikit di dalam jaringan tubuh.

Dampak pencemaran logam tidak secara langsung tetapi gejala-gejala penyakit baru akan terasa setelah bertahun-tahun kemudian. Kontaminasi logam ini sangat berbahaya bagi kesehatan. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian tentang konsentrasi logam berat Pb, Cd, dan Cu serta kelayakan konsumsi kerang darah (*A. granosa*) sangat penting untuk dilakukan.

B. Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui konsentrasi logam berat Pb, Cd, dan Cu pada kerang darah (*Anadara granosa*) dengan ukuran berbeda di perairan Teluk Losari Kota Makassar.
2. Mengetahui perbedaan akumulasi logam berat Pb, Cd dan Cu pada ukuran kerang darah (*A. granosa*) yang berbeda.
3. Mengetahui kelayakan konsumsi kerang darah (*A. granosa*) yang terdapat di perairan Teluk Losari.

Hasil penelitian diharapkan berguna dalam mengetahui kandungan logam berat Pb, Cd dan Cu pada kerang darah (*A. granosa*) dan sebagai bahan informasi dalam pengelolaan perairan Teluk Losari.

C. Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup kajian penelitian ini tentang konsentrasi Pb, Cd dan Cu yang terserap pada kerang darah (*A. granosa*) di perairan Teluk Losari Kota Makassar yang diamati pada satu stasiun yang telah ditentukan dengan melakukan tiga kali pengulangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Klasifikasi dan Deskripsi Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Klasifikasi kerang darah (*Anadara granosa*) dalam taksonomi avertebrata (Tricity, 2008) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Animalia

Filum : Mollusca

Kelas : Bivalvia

Subkelas : Pteriomorpha

Ordo : Arcoida

Superfamili: Arcacea

Famili : Arcidae

Genus : *Anadara*

Spesies : *Anadara granosa* (Linnaeus, 1758)



Gambar 1. Kerang darah (*Anadara granosa* L)

Kerang darah (*A. granosa*) terdapat hampir di seluruh pantai Indonesia, hidup di daerah pantai berlumpur pada kedalaman sampai dengan 4 meter dan relatif tenang. Bentuknya bulat kipas, agak lonjong dan terdiri dari dua belahan yang sama (simetris). Mempunyai garis palial pada cangkang sebelah dalam yang lengkap dan garis palial bagian luar beralur. Bagian dalam halus dengan warna putih mengkilat. Warna dasar kerang putih kemerahan (merah darah) dan



bagian dalamnya merah (PIPP-DKP, 2008). Pigmen berwarna merah ini adalah hemoglobin, serupa pada darah manusia (Nus, 2008).

Ditambahkan Poutiers (1998) dalam FAO (2008) cangkang kerang darah (*A. granosa*) padat dan tebal, umbones betul-betul menonjol dengan kardinal yang agak besar.

Panjang maksimum kerang darah (*A. granosa*) adalah 9 cm namun umumnya ditemukan hingga 6 cm, merupakan organisme intertidal yang hidup di daerah berpasir dan mampu bertahan terhadap kekeringan hingga 6-10 jam sehari semalam (Tran Hoang Phuc Fisheries, 1997 dalam FAO, 2008).

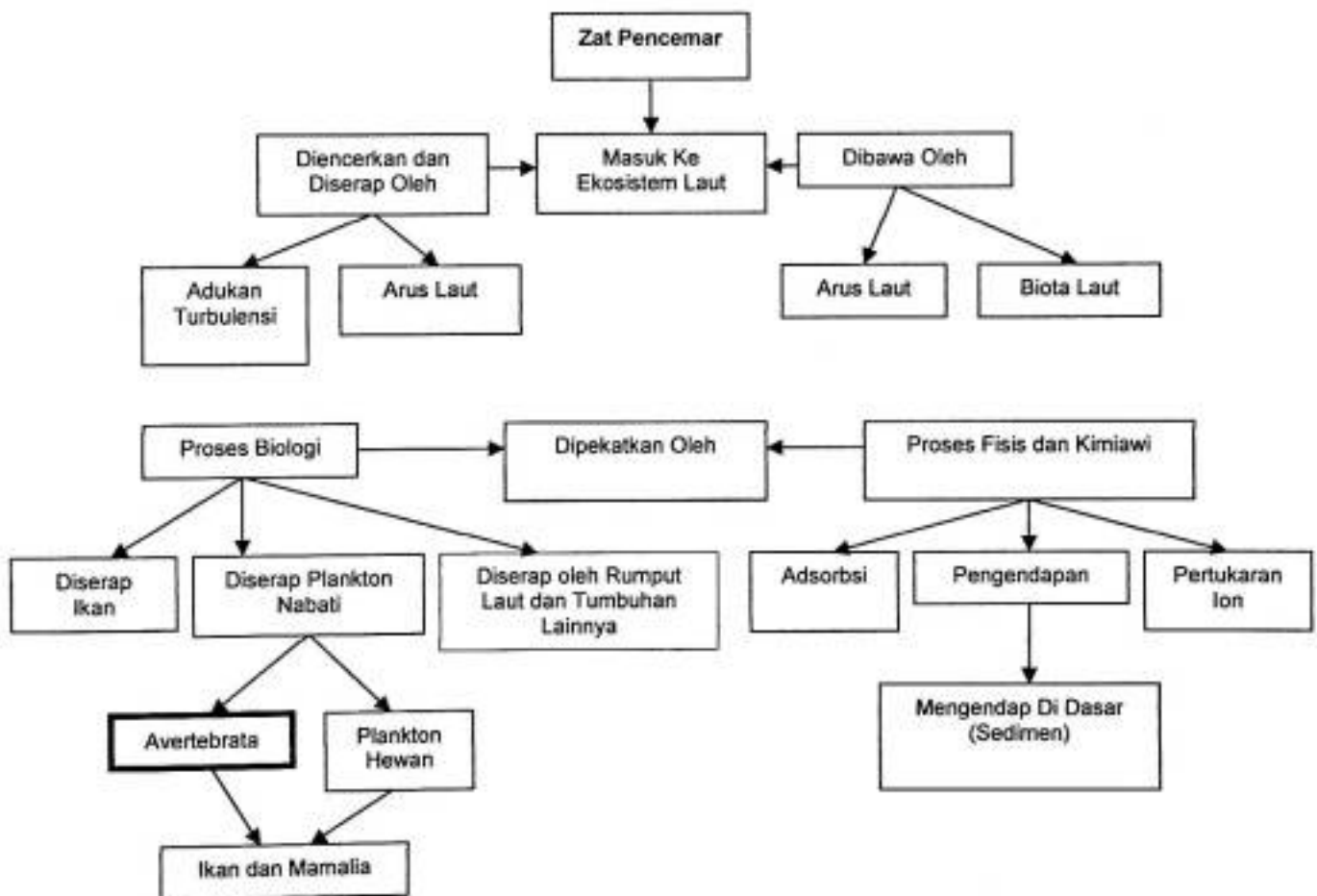
Bulan Agustus hingga Pebruari adalah masa reproduksi kerang darah (*A. granosa*) dan mulai memasuki masa matang gonad ketika berumur 1 hingga 2 tahun. Kerang betina mampu menghasilkan 518.400 - 2.313.200 telur. Kerang ini dapat menyesuaikan diri pada salinitas 14-300 ppm dan suhu 20-30°C (Tran Hoang Phuc Fisheries, 1997 dalam FAO, 2008).

B. Logam Berat

Unsur logam ditemukan secara luas di seluruh permukaan bumi, mulai dari tanah dan batuan, badan air, dan lapisan atmosfer yang menyelimuti bumi. Umumnya logam-logam di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain dan sangat jarang yang ditemukan dalam bentuk elemen tunggal (Palar, 1994).

Berbagai unsur logam berat secara alami terdapat pada perairan yang dibawa oleh aliran sungai, erosi atau jatuhnya debu di atmosfer. Selain itu dapat pula disebabkan oleh peningkatan aktivitas manusia di daratan atau lepas pantai melalui aktivitas industri, pertambangan, transportasi dan buangan penduduk (GESAMP, 1985 dalam Fachruddin dan Nurdin, 2002).

Menurut Hutabarat dan Evans (1984), masuknya logam berat di dalam badan perairan terjadi melalui tiga cara, yaitu : (1) akibat dari pembuangan sisa industri yang tidak terkontrol, dimana mereka ini kemudian mengalir ke dalam estuarin dan masuk ke laut, (2) berasal dari lumpur minyak yang kadang-kadang juga mengandung logam berat dengan konsentrasi tinggi yang terbuang ke laut dan (3) berasal dari pembakaran minyak (hidrokarbon) dan batubara di daratan. Mereka melepaskan logam berat ke dalam atmosfer dimana kemudian bercampur dengan air hujan dan jatuh ke dalam laut.



Gambar 2. Proses Penyerapan Logam Berat Oleh Tumbuhan dan Sedimen (Environmental Protection Agency, 1973 dalam Kunarso dan Ruyitno, 1991)

Logam juga dapat masuk ke lingkungan karena adanya daur alamiah yang memindahkan logam-logam dari batuan ke tanah, ke organisme hidup, ke air, ke endapan dan akhirnya ke batuan. Perilaku logam di dalam perairan alamiah sangat dipengaruhi oleh interaksi fase air dan padat khususnya air dan sedimen. Penambahan dan remobilitas logam di dalam sedimen bergantung pada fraksi seperti susunan kimiawi, kadar garam, pH, nilai redoks dan keadaan hidrodinamik (Connel dan Miller, 1995).

Palar (1994) mengemukakan bahwa aktivitas manusia, industri, galangan kapal dan berbagai aktivitas pelabuhan lainnya merupakan salah satu jalur yang mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan logam berat dalam badan air.

Sedikitnya terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, dimana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Pararaja, 2008).

USEPA (U.S. Environmental Agency) mendata ada 13 elemen logam berat yang merupakan elemen utama polusi yang berbahaya. Seperti halnya sumber-sumber polusi lingkungan lainnya, logam berat tersebut dapat ditransfer dalam jangkauan yang sangat jauh di lingkungan, selanjutnya berpotensi mengganggu kehidupan biota lingkungan dan akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia walaupun dalam jangka waktu yang lama dan jauh dari sumber polusi utamanya (Pararaja, 2008).

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju absorpsi logam dalam air ke dalam organisme yaitu kadar garam (air laut), alkalinitas (air tawar), hadirnya senyawa kimia lainnya, temperatur, derajat keasaman (pH), dan besar kecilnya organisme tersebut. Disamping itu kondisi stress fisiologis organisme sangat berpengaruh terhadap peningkatan absorpsi logam dari air (Darmono, 1995).

Berdasarkan sifat kimia dan fisiknya, maka tingkat atau daya racun logam berat terhadap hewan air dapat diurutkan (dari tinggi ke rendah) sebagai berikut merkuri (Hg), kadmium (Cd), seng (Zn), timah hitam (Pb), krom (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co) (Sutamihardja dkk, 1982 dalam Marganof, 2003). Menurut Darmono (1995 dalam Marganof, 2003) daftar urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkonsumsi ikan adalah sebagai berikut $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$. Sedangkan menurut Kementrian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, sedangkan bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

C. Timbel (Pb)

Timbel merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Dalam bumi terkandung sekitar 13 ppm, dalam tanah antara 2,6-25 ppm, di perairan sekitar 3 mg/L dan dalam air tanah jumlahnya kurang dari 0.1 ppm. Istilah timbel tidak jauh beda dengan unsur satu golongannya yaitu timah yang sudah dikenal di khalayak ramai. Orang Romawi menyebut timah sebagai *plumbum album* dan timbel sebagai *plumbum nigrum* sedangkan kita mengenal juga timah putih (Sn:Stanum) dan timah hitam (Pb:Plumbum) (Pararaja, 2008).

Logam timbel mempunyai sifat-sifat khusus sebagai berikut (Palar, 1994):

1. Pb Merupakan logam yang lunak, sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau dengan tangan dan dapat dibentuk dengan mudah.
2. Pb merupakan logam yang tahan terhadap peristiwa korosi atau karat sehingga sering digunakan sebagai bahan coating.
3. Pb mempunyai titik lebur rendah, hanya 327,5°C.
4. Pb mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam-logam biasa, kecuali emas dan merkuri.
5. Pb merupakan penghantar listrik yang baik.

Menurut Palar (1994), timbel tersebar luas pada batuan dan tanah dari kerak bumi dengan konsentrasi utama hanya 12-20 ppm. Pb dan persenyawaannya dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktivitas manusia. Secara alamiah, Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Pb yang masuk ke badan perairan sebagai dampak dari aktifitas kehidupan manusia dengan berbagai macam bentuk. Di antaranya yaitu air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut jatuh pada jalur-jalur perairan seperti anak-anak sungai untuk kemudian terus menuju lautan. Umumnya jalur buangan dari sisa perindustrian yang menggunakan Pb akan merusak tata buangan lingkungan perairan yang dimasukinya (menjadikan sungai dan alurnya tercemar).

Timbel bersifat toksik jika terhirup atau tertelan oleh manusia dan di dalam tubuh akan beredar mengikuti aliran darah, diserap kembali di dalam ginjal dan otak, dan disimpan di dalam tulang dan gigi. Penelitian menunjukkan bahwa timbal yang terserap oleh anak, walaupun dalam jumlah kecil, dapat menyebabkan gangguan pada fase awal pertumbuhan fisik dan mental yang

kemudian berakibat pada fungsi kecerdasan dan kemampuan akademik. Timbal mempunyai afinitas sangat besar terhadap belerang. Logam-logam ini menyerang ikatan-ikatan belerang dalam enzim-enzim sehingga enzim-enzim yang bersangkutan menjadi tidak berfungsi (Pararaja, 2008) ditambahkan oleh Adnan (2004) bahwa Pb juga merupakan senyawa yang mudah berikatan dengan unsur-unsur lain seperti nitrogen yang dibutuhkan oleh biota.

Konsentrasi timbel yang tinggi dapat menyebabkan dampak negatif terhadap manusia. Keracunan akut biasanya ditandai dengan diare sedangkan gejala kronis umumnya ditandai dengan mual, anemia, sakit disekitar mulut dan dapat menyebabkan kelumpuhan. Gejala khas dari keracunan timbel terhadap anak-anak dan orang dewasa antara lain memperlihatkan nafsu makan berkurang, sakit perut dan muntah-muntah, bergerak terasa kaku dan hasil tes psikologik sangat rendah, sulit berbicara dan malas bermain, hiperiritasi, gangguan tidur dan depresi, serta gangguan pertumbuhan otak atau ensefaloti (Darmono, 1995).

Timbel tidak termasuk unsur yang esensial bagi mahluk hidup, bahkan unsur ini bersifat toksik bagi hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang. Toksisitas timbal terhadap tumbuhan relatif lebih rendah dibandingkan dengan unsur renik lainnya (Moore, 1991 *dalam* Adnan, 2004).

Kandungan logam Pb yang sesuai dengan baku mutu air laut berdasarkan Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (SK MENKLH) No. 51 Tahun 2004 untuk kepentingan pariwisata yaitu $0,005 \text{ mg.l}^{-1}$ dan untuk organisme perairan yaitu $0,08 \text{ mg.l}^{-1}$. Ketentuan dari FAO (1972) *dalam* Ayu (2006) dan Dirjen POM (1989) menetapkan bahwa baku maksimum Pb dalam makanan adalah sebesar $2,0 \text{ mg.kg}^{-1}$.

D. Kadmium (Cd)

Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Hanya ada satu jenis mineral kadmium di alam yaitu *greenockite* (CdS) yang selalu ditemukan bersamaan dengan mineral *spalerite* (ZnS). Berdasarkan pada sifat-sifat fisiknya, Cd merupakan logam yang lunak, berwarna putih seperti putih perak. Sedangkan berdasarkan pada sifat-sifat kimianya, logam Cd di dalam persenyawaan yang dibentuknya pada umumnya mempunyai bilangan valensi 2⁺, sangat sedikit yang mempunyai bilangan valensi 1⁺ (Palar, 1994).

Logam Cd dan bermacam-macam bentuk persenyawaannya dapat masuk ke lingkungan, terutama sekali merupakan efek sampingan dari aktivitas yang dilakukan manusia. Boleh dikatakan bahwa semua industrinya menjadi sumber cemaran Cd (Palar, 1994).

Menurut Palar (1994), pencemaran oleh Cd berasal dari industri logam, bahan cat warna, plastik, percetakan, dan tekstil. Unsur Cd yang terdapat dalam air laut berasal dari industri yang ditemukan dalam bentuk garam. Prinsip utama penggunaan Cd sebagai stabilisator dan pigmen dalam pembuatan plastik adalah proses penyepuhan dengan tenaga listrik. Sebagian kecil Cd terdapat dalam solder, logam campuran lain, baterai serta bahan cat warna.

Secara umum gejala keracunan Cd pada manusia, baik secara akut maupun kronis, dapat mengakibatkan gangguan pada sistem pernapasan, kerusakan pada fungsi organ hati dan ginjal, serta gangguan terhadap pertumbuhan tulang yang menyebabkan kerapuhan tulang. Keracunan kronis terjadi bila memakan atau inhalasi dosis kecil Cd dalam waktu yang lama. Gejala akan terjadi setelah selang waktu beberapa lama dan kronik. Kadmium pada keadaan ini menyebabkan nefrotoksisitas, yaitu gejala proteinuria, glikosuria, dan aminoasidiuria disertai dengan penurunan laju filtrasi glomerulus ginjal. Kasus keracunan Cd kronis juga menyebabkan gangguan kardiovaskuler dan hipertensi.

Hal tersebut terjadi karena tingginya afinitas jaringan ginjal terhadap kadmium. Gejala hipertensi ini tidak selalu dijumpai pada kasus keracunan Cd kronik. Kadmium dapat menyebabkan osteomalasea karena terjadinya gangguan daya keseimbangan kandungan kalsium dan fosfat dalam ginjal. Keracunan Cd kronik ini dilaporkan di daerah Toyama, sepanjang sungai Jinzu di Jepang, yang menyebabkan penyakit *Itai-itai* pada penduduk wanita umur 40 tahun keatas (Darmono, 1995).

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Secara prinsipil pada konsentrasi rendah berefek terhadap gangguan pada paru-paru, *emphysema* dan *renal tubular disease* yang kronis. Jumlah normal kadmium di tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi angka tertinggi 1.700 ppm. Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia (Wikipedia, 2008).

Selain itu Nolan *et al* (1984) dalam Ayu (2006) juga mengemukakan bahwa logam Cd terakumulasi pada organ insang, hepatopankreas, ginjal dan mantel. Logam ini masuk ke tubuh hewan melalui dua jalan yaitu saluran pencernaan dan saluran pernapasan. Dalam usus, Cd menempel pada dinding usus sehingga diduga sel epitel usus mengatur absorpsi Cd.

Kandungan logam Cd yang sesuai dengan baku mutu air laut berdasarkan Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (SK MENKLH) No. 51 Tahun 2004 untuk kepentingan pariwisata yaitu $0,002 \text{ mg.l}^{-1}$ dan untuk organisme perairan yaitu $0,001 \text{ mg.l}^{-1}$. Standar maksimum kadar

logam berat Cd dalam makanan menurut FAO (1972) dalam Ayu (2006) sebesar $2,00 \text{ mg.kg}^{-1}$.

E. Tembaga (Cu)

Tembaga memiliki nama kimia *Cuprum* yang dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan (Palar, 1994). Menurut Clark (1986), masukan alami tembaga ke dalam lingkungan laut berasal dari erosi batu-batuan mineral yang diperkirakan berjumlah 325.000 ton per tahun. Kira-kira 7,5 ton per tahun tembaga diproduksi untuk digunakan dalam peralatan elektronika, sebagai logam campuran katalis kimia cat *anti fouling* untuk kapal dan untuk pengawetan kayu. Beberapa penggunaan tersebut tidak dapat dihindari dan menyebabkan tembaga masuk ke dalam perairan. Ditambahkan oleh Palar (1994), pencemaran tembaga biasanya berasal dari industri peralatan listrik, peleburan logam, katalisator, algasida, pengawet kayu dan cat *anti fouling*.

Tembaga merupakan logam berat yang sangat membahayakan kesehatan manusia. Namun demikian, logam Cu juga dibutuhkan dalam kehidupan makhluk hidup sebagai elemen mikro. Logam Cu dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif dan pembentukan kompleks Cu-protein yang dibutuhkan untuk pembentukan haemoglobin, kolagen, pembuluh darah, dan myelin otak. Penyerapan Cu ini dilakukan oleh organisme melalui insang dan saluran pencernaan (Darmono, 1995). Ditambahkan oleh Clark (1986) bahwa tembaga yang terdapat dalam moluska dan krustase tingkat tinggi berfungsi sebagai pigmen respirasi.

Ditambahkan oleh Pararaja (2008) logam ini termasuk logam esensial yang berarti keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun.

Palar (1994) menyatakan bahwa toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait. Bentuk Cu yang paling beracun adalah debu-debu Cu yang dapat mengakibatkan kematian pada dosis $3,5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Efek keracunan yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap Cu adalah terjadinya kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung.

Kandungan logam Cu yang sesuai dengan baku mutu air laut berdasarkan Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (SK MENKLH) No. 51 Tahun 2004 untuk kepentingan pariwisata yaitu $0,05\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ dan untuk organisme perairan yaitu $0,008\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Batas maksimum kadar Cu yang diperbolehkan dalam makanan hasil laut oleh FAO (1972) dalam Ayu (2006) sebesar $1,0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dan Dirjen POM (1989) sebesar $20,0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

F. Akumulasi Logam dalam Kerang

Peningkatan konsentrasi logam berat dalam perairan melebihi konsentrasinya, secara alami akan mempengaruhi kandungan logam berat pada biota laut yang hidup di perairan tersebut, terutama organisme yang hidup di dasar. Hal ini disebabkan karena selain konsentrasi logam berat lebih besar terdapat pada lapisan air bagian bawah dan sedimen, organisme yang hidup di sekitar lapisan perairan bagian bawah umumnya bergerak lambat sehingga lebih mudah mengakumulasi unsur logam berat yang terkandung di dalamnya (Clark, 1986).

Kandungan logam berat tertinggi umumnya ditemukan pada avertebrata jenis *filter feeder*, seperti kekerangan dan tiram (Hutagalung, 1991). Kerang adalah *filter feeder* yang efisien dan mampu mengambil dan mengumpulkan partikel dari kolom perairan dan menumpuknya dalam jaringan tubuh.

Kerang dapat juga mensintesis protein yang mengikat logam (methallothionein) untuk detoksifikasi logam (Kohler dan Risgard, 1982). Methallothionein adalah protein dengan kandungan logam berat yang tinggi seperti Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , dan lain-lain (Widdows dan Donkin, 1992) yang tersebar dalam jaringan tubuh kerang seperti insang, mantel, alat pencernaan dan alat ekskresi (Viarengo dan Canesi, 1991).

Kebanyakan logam terjadi dalam bentuk terlarut dalam air sehingga pengambilan Pb, Cd dan Hg langsung dari air adalah suatu proses penting dalam kerang (Bouredlyn, 1996). Menurut Simkiss dan Mason (1983) logam masuk ke dalam jaringan tubuh biota melalui tiga cara, yaitu :

1. Endositosis : pengambilan partikel dari permukaan sel dengan membentuk media perpindahan oleh membran plasma. Proses ini sepertinya berperan dalam pengambilan logam berat dalam bentuk tidak terlarut.
2. Diserap dari air: 90% dari kandungan logam dalam jaringan berasal dari penyerapan oleh sel epitel insang. Insang diduga sebagai organ yang menyerap logam berat dari air.
3. Diserap dari makanan dan sedimen: penyerapan logam dari makanan dan sedimen oleh biota bergantung pada strategi mendapatkan makanan dan *life history* biota. Pada jenis *filter feeder*, penyerapan terbesar bukan dari larutan tetapi dari makanan dan partikel yang disaring.

Dalam perairan, logam berat dapat teradsorpsi dan terakumulasi oleh hewan air dan akan terlibat dalam sistem rantai makanan meskipun kadarnya relatif rendah. Hal tersebut menyebabkan terjadinya proses yang disebut bioakumulasi. Logam berat akan terkumpul dan meningkat kadarnya dalam jaringan tubuh biota air. Kemudian melalui proses biotransformasi akan terjadi pemindahan dan peningkatan kadar logam berat tersebut ke *trophic level* yang lebih tinggi yang disebut biomagnifikasi (Tetelepta, 1990).

Menurut Waldichuk (1974) dalam (Triyogo, 2005), akumulasi logam berat terjadi karena kecenderungan logam berat untuk membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam tubuh organisme. Di dalam tubuh organisme, senyawa tersebut terfiksasi tetapi tidak segera diekskresikan oleh organisme yang bersangkutan sehingga kandungan logam berat di dalam tubuh organisme lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan logam berat di dalam lingkungan hidupnya.

Menurut Darmono (1995), hubungan antara jumlah adsorpsi dan kandungan logam dalam air biasanya secara proporsional. Kenaikan kandungan logam berat dalam jaringan sesuai dengan kenaikan kandungan logam berat dalam air. Pada logam-logam esensial, kandungannya dalam jaringan biasanya mengalami regulasi (diatur, kandungan logam konstan pada batas-batas konsentrasi tertentu). Tetapi pada logam-logam nonesensial, kandungan logam dalam jaringan naik terus sesuai dengan kenaikan konsentrasi logam dalam air.

Ditambahkan oleh Hasim (2008), karena sering menyerap logam berat di perairan, hewan air dalam hal ini kerang memiliki nilai ekologis tinggi. Kerang air tawar yang hidup di dasar kolam atau danau dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator maupun biomonitoring polutan yang tersuspensi dalam perairan, selain itu, kerang juga dapat dijadikan sebagai biofilter logam berat. Di samping itu, kemampuan hidupnya yang relatif lebih tahan terhadap polutan dibanding

ikan (mampu hidup dalam lumpur yang kering saat musim kemarau) membuat kerang amat tepat dimanfaatkan sebagai pembersih lingkungan. Apalagi, kerang bisa membersihkan polutan logam berat relatif cepat. Hal ini tentunya tak terlepas dari sifatnya yang *filter feeder* yaitu jenis hewan yang mendapatkan makanan dengan jalan menyaring air yang masuk ke dalam tubuhnya. Volume air yang dapat disaring oleh kerang adalah 2,5 liter per individu dewasa per jam. Makanan yang masuk bersama air tadi digerakkan, diperas, lalu dicerna dengan bantuan cilia (rambut getar) pada tubuhnya. Cilia mampu bergerak 2-20 kali per detik. Makanan kerang dapat berupa zooplankton, fitoplankton, bakteri, flagellata, protozoa, detritus, alga, dan berbagai zat yang tersuspensi dalam perairan tempat tinggalnya.

Hasil penelitian Ayu (2006) menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata logam berat Pb, Cd, dan Cu berturut-turut pada kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Teluk Losari adalah 21,52 ppm, 1,26 ppm, dan 11,93 ppm.

Kerang hijau (*P. viridis*) dapat menyaring logam-logam berat seperti Pb (timbel), kadmium (Cd), maupun tembaga (Cu). Sementara kerang darah (*A. granosa*) yang dapat hidup di dalam lumpur bahkan secara tak langsung dapat mengkonsumsi sedimen. Bila masuk ke dalam tubuh, logam-logam berat ini tidak dapat keluar namun akan terpendam di dalamnya dan kemudian akan menjadi racun di dalam tubuh, yang berbahaya bila racun tadi dideposit tulang dan mengendap di dalamnya. Hal ini dapat terjadi bila terdapat kesalahan *uptake*, kadmium yang terserap dapat dianggap kalsium dan diserap tulang (Soetjipto, 2002).

Hasil penelitian Inswiasri dkk (1995) menunjukkan bahwa kadar Cd dalam kerang darah lebih tinggi dibandingkan kadar Cd dalam kerang yang lain, misalnya jika dibandingkan dengan kerang hijau, kerang bulu dan kerang putih. Pada penelitian ini pula disebutkan konsentrasi Cd pada kerang darah, kerang

hijau, kerang bulu dan kerang putih berturut-turut adalah 1,06; 0,26; 0,28 dan 0,0002. Sedangkan moluska bivalvia secara umum dapat mengakumulasi Cd sampai 352 kali lebih tinggi, tingginya akumulasi ini berhubungan erat dengan sifat hidupnya sebagai binatang dasar yang mengambil makanan dengan cara menyaring air (*filter feeder*).

Aunurohim dkk (2006) juga menegaskan hal yang sama, bahwa hasil penelitian di Kepulauan Kangean pada *Anadara scapha*, akumulasi logam berat Cd yang terkandung di dalam tubuhnya adalah 13,30 ppm.

Amin (2002) mengemukakan bahwa rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada kerang darah (*A. granosa*) di perairan sekitar bekas penambangan timah Pulau Singkep adalah 6,687 ppm. Hasil penelitian Hendra (2001) dalam Amin (2002) memperlihatkan rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada kerang darah (*A. granosa*) di Batu Ampar adalah 10,39 ppm. Konsentrasi logam berat Pb di Batu Ampar berasal dari daerah timbunan dan tempat penumpukan pipa perindustrian dan merupakan daerah pelabuhan yang padat dengan lalu lintas pelayaran, sedangkan di perairan sekitar bekas penambangan timah Pulau Singkep berdiri industri-industri yang bergerak di dalam kegiatan penambangan pasir dan industri galangan kapal. Namun, jika dibandingkan dengan hasil penelitian Ismail dkk (1995), rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada kerang darah (*A. granosa*) di Perairan Rawameneng dan di Teluk Losari tidak berbeda, dimana rata-rata konsentrasi logam berat Pb di Perairan Rawameneng adalah 1,6 ppm.

Logam berat Cu pada *Anadara senilis* di Nigeria yaitu 1,0 ppm (Aunurohim dkk, 2006). Sementara itu, rata-rata konsentrasi logam berat Cu pada kerang darah di Perairan Dumai (Nugrahadi, 1998 *dalam* Amin, 2002) adalah 9,567 ppm.

Hasil penelitian Aunurohim dkk (2006) menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi *Anadara scapha* di Kepulauan Kangean berturut-turut adalah 4,77 ppm. Akumulasi logam berat Cu, Cd dan Zn pada makrofauna bentik di Kepulauan Kangean relatif sangat tinggi dengan penelitian sebelumnya di beberapa lokasi di dunia, baik di zona sedang maupun di zona tropis dan juga nilai ambang batas yang direkomendasikan oleh WHO (Darmono, 2001). Hal ini terkait pada lokasi pengambilan hewan uji di daerah pintu masuk jalur transportasi Pelabuhan Kalianget Sumenep dengan Kepulauan Kangean, Madura.

Selanjutnya Seng dkk (1994) *dalam* Amin (2002) menyatakan bahwa logam berat secara alami di lingkungan perairan berasal dari material geokimia dan keberadaannya telah ditambah oleh aktivitas manusia seperti peratambangan. Dengan muatannya yang tersuspensi tinggi dalam air, akan tinggi pula yang dikonsumsi oleh organisme.

Tabel 1. Konsentrasi Logam Berat (dalam µg/g berat kering) pada Makrofauna Benthik dalam Skala Dunia

Spesies	Lokasi	Cu	Cd	Zn	Referensi
Zona sedang					
<i>Mytilus edulis</i>	Apple river, Inner Bay Fundy Canada	6,6 ± 0,05	2,7 ± 0,32	75 ± 5	Chou, et al., 2003
<i>Mytilus edulis</i>	Prancis	7,9	1,0	127	RNO, 1996
<i>Mytilus edulis</i>	Amerika Serikat	8,5	1,6	120	RNO, 1996
Zona tropis					
<i>Crassostrea gasar</i>	Kamerun	8,5	0,25	407	Micome, 1988
<i>Crassostrea gasar</i>	Pantai Gacing	25	0,65	1205	Merongo, 1991
<i>Gafrarium tumidum</i>	Hong Kong	5,77	-	57,7	Cheung and Wong, 1997
<i>Gafrarium tumidum</i>	New Caledonia	5,4-33,6	-	53-139	Breau, 2003
<i>Anadara senilis</i>	Nigeria	1,0	0,03	15	Joris and Azokwu, 1999
<i>Anadara scapha (besar)</i>	Kep. Kangean	4,77 ± 0,97	13,30 ± 1,55	70,07 ± 11,88	Studi ini
<i>Nassarius globosus</i>	Kep. Kangean	192,53 ± 154,65	2,80 ± 1,70	421,21 ± 325,49	Studi ini
<i>Saccostrea cucullata</i>	Kep. Kangean	15,71 ± 3,69	11,30 ± 1,22	1816,02 ± 367,28	Studi ini
Ambang Batas untuk air		-	0,01*	5*	Paluci (1994) dalam Darmono (2001)
Ambang Batas untuk ikan		10**	0,05**	100**	Darmono (2001)

Keterangan: *dalam mg/lit

** dalam mg/kg

Sumber : Aunurohlim dkk (2006)

G. Tingkat Konsentrasi Logam Berat Berdasarkan Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Besar cangkang suatu spesies makrofauna bentik biasanya diidentikkan dengan umur spesies tersebut. Dengan kata lain, semakin besar ukuran cangkang maka umur spesies tersebut juga diperkirakan lebih tinggi. Seperti pada *Mytilus edulis* pada penelitian Riget *et.al* (1996) dalam Aunurohim dkk (2006) ditemukan korelasi positif antara ukuran cangkang dengan kemampuan mengakumulasi logam berat. Namun, fenomena tersebut tidak terjadi secara umum karena individu spesies *Gafrarium tumidum* yang berukuran sedang justru mengakumulasi logam berat (kecuali Cd) lebih besar dibandingkan yang berukuran besar (untuk yang berukuran kecil tetap mengakumulasi logam terendah) (Aunurohim dkk, 2006).

Amin (2002) menambahkan bahwa ukuran tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap kandungan logam berat Pb dan Cu yang diakumulasi oleh kerang darah (*A. granosa*). Hal ini dapat terjadi karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti salinitas, hadirnya senyawa-senyawa kimia lainnya, temperatur dan pH.

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Juni sampai Agustus 2008. Lokasi pengambilan sampel bertempat di perairan Teluk Losari Makassar, dan analisis kandungan logam berat dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat selam dasar untuk snorkling dan keperluan selam, kantong sampel untuk menyimpan sampel, kaliper untuk mengukur lebar cangkang kerang, kamera untuk mendokumentasikan sampel, *cool box* sebagai wadah penyimpanan sampel saat di lapangan, oven untuk mengeringkan sampel, tanur untuk memanaskan sampel, *hot plate* untuk menguapkan asam pada sampel, pipet tetes untuk mengambil larutan asam, gelas piala dan botol sampel untuk menyimpan sampel, labu ukur untuk mengukur aquades, spatula untuk mengaduk larutan serta *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) tipe Shimadzu AA-6200 untuk mengukur kandungan logam berat.

Bahan-bahan yang digunakan adalah es batu untuk mempertahankan kesegaran sampel, kertas saring Whatman No. 41 untuk menyaring sampel larutan yang telah didestruksi, serta HNO_3 dan H_2SO_4 sebagai bahan destruksi dalam mengikat logam dan aquades untuk mensterilkan alat. Hewan uji yang digunakan adalah kerang darah (*A. granosa*).

C. Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1. Tahap awal/persiapan

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah konsultasi, pengumpulan referensi dan literatur pendukung, dan pengumpulan data-data penunjang yang berhubungan dengan kajian penelitian.

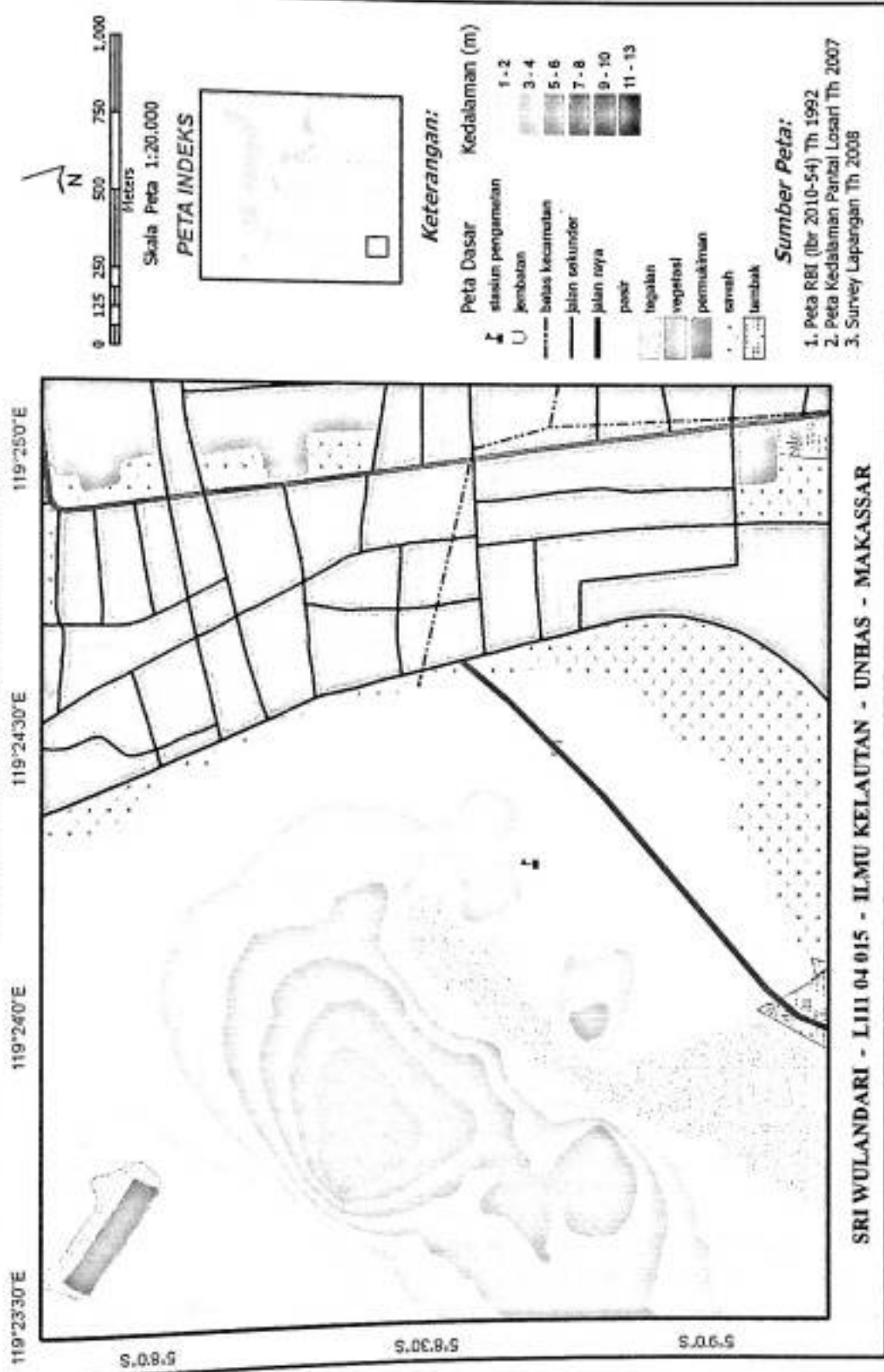
2. Observasi lapangan

Pada tahap ini, observasi lapangan dilakukan untuk mendapat gambaran kondisi umum penelitian.

3. Penentuan stasiun

Berdasarkan studi awal dan observasi lapangan maka dipilih Teluk Losari sebagai lokasi penelitian dimana terdapat satu titik stasiun dengan 3 kali pengulangan.

**ANALISIS LOGAM BERAT TIMBEL (Pb), KADMIUM (Cd) dan TEMBAGA (Cu) PADA KERANG DARAH (*Anadara granosa*)
DI PERAIRAN TELUK LOSARI MAKASSAR**



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian



4. Tahap Pengambilan Sampel

- a. Mengambil kerang darah (*A. granosa*) secara langsung kemudian mengukur dan memisahkannya berdasarkan ukuran kecil (< 3 cm) dan ukuran besar (> 3 cm). Jumlah individu kerang besar sebanyak 3 ekor dan kerang kecil sebanyak 5 ekor. Dalam penelitian ini, range ukuran yang diperoleh untuk kerang besar adalah 3,15 cm–4,54 cm dan untuk kerang kecil adalah 2,17 cm–2,78 cm.
- b. Bersihkan hewan uji dan beri es batu untuk mempertahankan kesegarannya, kemudian masukkan ke dalam kantong sampel.
- c. Masukkan kantong sampel ke dalam *cool box*.

5. Tahap Pengukuran Logam Berat

- a. Buka cangkang hewan uji dan ambil isinya.
- b. Masing-masing hewan untuk kerang besar dan kerang kecil digabungkan kemudian menimbang hewan uji seberat 5 gr dengan 3 kali pengulangan untuk masing-masing logam.
- c. Masukkan hewan uji ke dalam gelas piala lalu tambahkan HNO_3 dan H_2SO_4 masing-masing sebanyak 5 ml.
- d. Taruh gelas piala diatas *hot plate* yang terdapat di dalam lemari asam.
- e. Panaskan hingga larutan berubah warna menjadi bening. Apabila larutan pada gelas piala berubah warna menjadi kehitaman maka tambahkan larutan HNO_3 sebanyak 5 ml, perlakuan ini dapat dilakukan berulang-ulang hingga diperoleh larutan berwarna bening.
- f. Angkat larutan yang sudah berwarna bening kemudian dinginkan.
- g. Saring dengan menggunakan kertas saring dan masukkan air hasil penyaringan ke dalam botol sampel hingga kertas saring kering.
- h. Tambahkan aquades secukupnya hingga air dalam botol sampel menjadi 50 ml.

6. Pembuatan Larutan Standar

- a. Ambil 5 ml larutan standar Pb 100 ppm, masukkan ke dalam labu ukur.
- b. Encerkan hingga 0,1 ppm; 0,2 ppm; 0,3 ppm; 0,4 ppm dan 0,5 ppm.
- c. Perlakuan diatas juga berlaku untuk Cd dan Cu.

7. Pengoperasian Alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

Analisis logam berat dilakukan dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) yang didasarkan pada hukum Lambert-Beer, yaitu banyaknya sinar yang diserap berbanding lurus dengan kadar zat. Oleh karena yang mengabsorpsi sinar adalah atom maka ion atau senyawa logam berat harus diubah menjadi bentuk atom. Perubahan bentuk ion menjadi bentuk atom harus dilakukan dengan suhu tinggi melalui pembakaran (Tetelepta, 1990).

Untuk mengetahui kandungan logam berat timbel (Pb), kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) dengan menggunakan AAS berturut-turut membutuhkan panjang gelombang 293,3 nm; 228,8 nm; dan 324,7 nm, kecepatan arus 10 mA; 8 mA; dan 6 mA, aliran 2,0 l/menit; 1,8 l/menit; dan 1,8 l/menit dan jenis gas yang digunakan untuk ketiga jenis logam berat ini adalah udara-C₂H₂ (Shimadzu, 1997).

Prosedur pengoperasian alat adalah sebagai berikut:

- a. Pasang lampu katoda berongga sesuai dengan logam yang akan dianalisis.
- b. Hubungkan alat AAS dengan sumber arus kemudian nyalakan lampu dengan besar arus sesuai petunjuk alat, panaskan lampu sampai 10 menit.
- c. Nyalakan pembakar dengan perbandingan udara asetilen, atur hingga nyala biru.

- d. Atur panjang gelombang sesuai petunjuk alat sehingga diperoleh serapan maksimum setiap unsur.
- e. Atur posisi lampu hingga diperoleh serapan yang maksimum.
- f. Aspirasikan larutan blanko ke dalam nyala udara asetilen, penunjukan meter harus nol dengan menekan tombol zero nol.
- g. Secara berturut-turut aspirasikan konsentrasi larutan baku.
- h. Catat nilai serapan dari larutan baku tersebut.
- i. Aspirasikan larutan contoh ke dalam nyala yang sebelumnya telah diaspirasikan larutan blanko untuk menolkan meter.
- j. Catat hasil serapannya.
- k. Alurkan serapan hasil pengukuran larutan baku terhadap konsentrasi hingga diperoleh kurva baku.

8. Analisis Logam

Untuk mendapatkan konsentrasi logam berat yang sebenarnya digunakan

formula :

$$K_{\text{sebenarnya}} = \left\{ \frac{KAAS \times KS}{NKS} \right\} \times P : T$$

Dimana :

$K_{\text{sebenarnya}}$ = Konsentrasi logam berat sesungguhnya ($\mu\text{g BK}$)

K_{AAS} = Konsentrasi logam berat yang terbaca oleh AAS (μg)

KS = Konsentrasi Standar (ppm)

NKS = Nilai Konsentrasi standar (ppm)

P = Jumlah hasil penyaringan (ml)

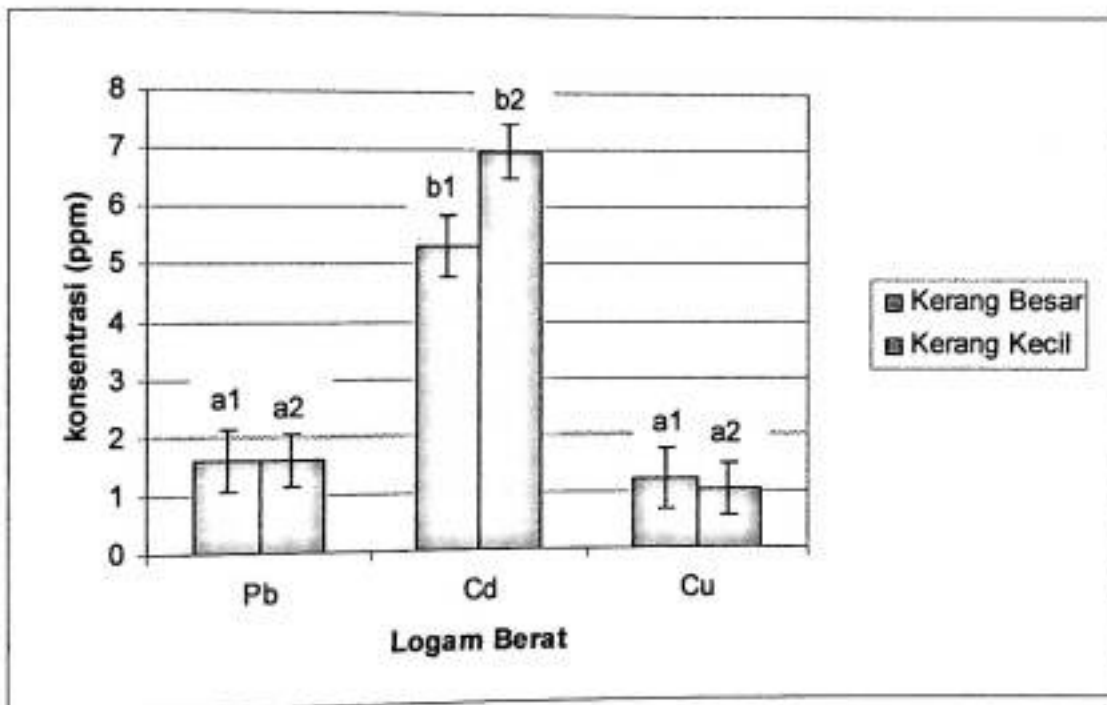
T = Berat sampel yang ditimbang (g)

D. Analisis Data

Untuk menguji perbandingan kandungan logam pada kerang darah (*A. granosa*) digunakan analisis sidik ragam (ANOVA), dengan uji lanjut bonferroni. Untuk menguji perbedaan kandungan logam berat berdasarkan ukuran kerang digunakan uji *T-student*. Kedua uji ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SPSS 12.0. Semua hasil kemudian dipresentasikan dalam bentuk gambar dan tabel yang dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan Standar Maksimum Logam Berat dalam Makanan menurut FAO (1972) dalam Jumariyah (2001) dan Dirjen POM (1989).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi rata-rata logam berat timbel (Pb), kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) yang terakumulasi dalam kerang darah (*A. granosa*) dapat dilihat pada Gambar 4. Logam berat Cd adalah logam berat yang konsentrasinya tertinggi dibandingkan logam lainnya. Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) juga menunjukkan logam Cd berbeda secara signifikan dari kedua logam lainnya ($P < 0,05$).



Gambar 4. Hasil ANOVA terhadap Konsentrasi Logam Berat pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) (huruf yang sama tidak menunjukkan adanya perbedaan pada $\alpha = 0,05$)

Hasil penelitian Ayu (2006) dengan hewan uji yang berbeda yakni kerang hijau (*Perna viridis*) pada lokasi pengambilan kerang yang sama, menunjukkan perbedaan tingkat akumulasi logam berat yang sangat mencolok dengan hasil penelitian ini. Pada kerang hijau (*P. viridis*) konsentrasi rata-rata logam berat Pb, Cd, dan Cu berturut-turut adalah 21,52 ppm, 1,26 ppm, dan 11,93 ppm. Sedangkan pada penelitian ini, konsentrasi rata-rata Pb adalah 1,61 ppm, Cd adalah 6,15 ppm dan Cu adalah 1,28 ppm. Hal ini mencerminkan kemampuan

sekaligus ciri khas tiap jenis kerang dalam mengakumulasi logam berat. Kerang darah (*A. granosa*) mampu mengakumulasi logam berat Cd lebih tinggi dibanding jenis kerang lain, pernyataan ini juga dipertegas oleh Inswiasri dkk (1999) bahwa kadar logam berat Cd dalam kerang darah (*A. granosa*) lebih tinggi dibandingkan kadar logam berat Cd dalam kerang jenis lain termasuk didalamnya kerang hijau (*P. viridis*).

A. Kadmium (Cd)

Rata-rata konsentrasi logam berat Cd dalam kerang darah (*Anadara granosa*) adalah sebesar 6,15 ppm. Konsentrasi ini lebih tinggi dibandingkan logam lain. Hal ini sesuai dengan pernyataan Inswiasri dkk (1999) bahwa moluska bivalvia dapat mengakumulasi logam berat Cd sampai 352 kali lebih tinggi dibandingkan logam berat lain. Hasil penelitian yang berlokasi di Teluk Jakarta ini menunjukkan bahwa kadar logam berat Cd dalam kerang darah lebih tinggi dibandingkan kadar logam berat Cd dalam kerang yang lain, misalnya jika dibandingkan dengan kerang hijau, kerang bulu dan kerang putih. Pada penelitian ini disebutkan pula konsentrasi logam berat Cd pada kerang darah, kerang hijau, kerang bulu dan kerang putih berturut-turut adalah 1,06 ppm; 0,26 ppm; 0,28 ppm dan 0,0002 ppm.

Konsentrasi logam berat pada makrofauna bentik dalam skala dunia juga menyebutkan bahwa pada *Mytilus edulis* dan *Anadara scapha* akumulasi logam berat Cd tertinggi ditemukan pada spesies *Anadara scapha*, dengan nilai konsentrasi logam berat Cd untuk *Mytilus edulis* adalah 2,7 ppm sedangkan pada *Anadara scapha* adalah 13,30 ppm.

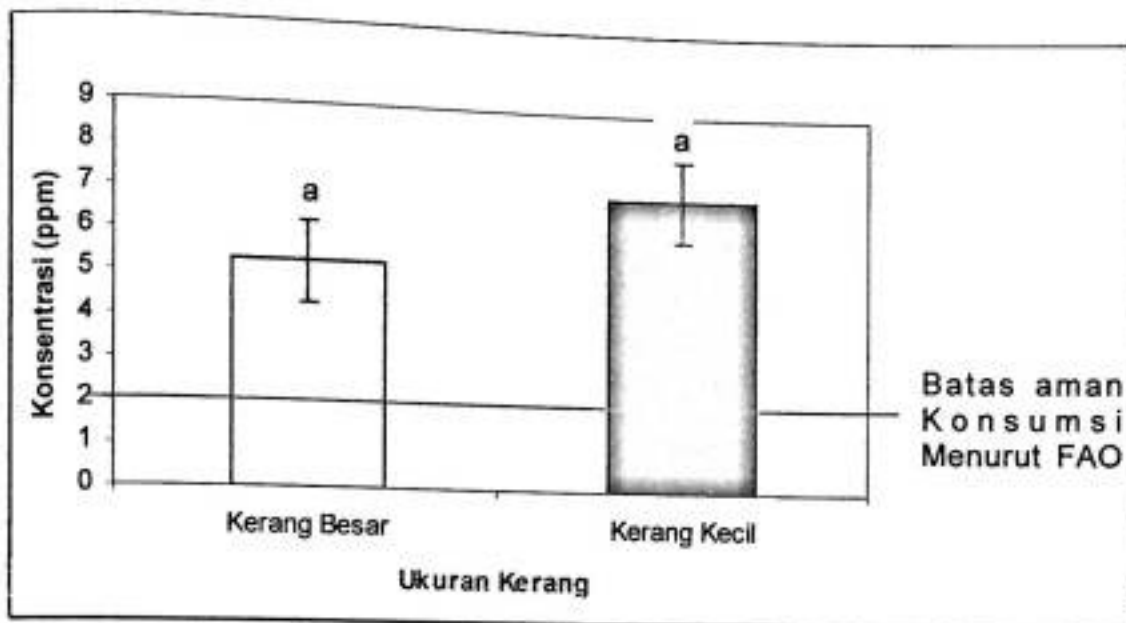
Jauhnya perbedaan tingkat akumulasi ini menyiratkan keunikan kerang darah (*A. granosa*) dalam mengakumulasi logam berat Cd dibanding jenis kerang lain. Tingginya akumulasi ini berhubungan erat dengan kebutuhan kerang darah (*A. granosa*) terhadap kalsium (Ca) yang dapat menjadi jalur utama masuknya Cd ke dalam tubuh kerang darah (*A. granosa*), sebagaimana diketahui bahwa kerang ini memerlukan Ca dalam perkembangan cangkangnya yang tebal. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sidoummou et al. (1997) dalam Neff (2002) bahwa masuknya Ca ke insang oleh invertebrata juga merupakan jalur Cd masuk ke dalam tubuh melalui insang. Pernyataan ini dipertegas oleh Bjerregaard dan Depledge (1994) dalam Neff (2002) bahwa pada pengambilan Ca secara aktif, Cd secara pasif juga ikut terambil. Hal inilah yang menjadikan tingginya konsentrasi Cd pada kerang darah (*A. granosa*).

Selain itu, tingginya konsentrasi Cd pada kerang darah (*A. granosa*) berhubungan erat dengan konsentrasi Cd pada sedimen habitat kerang ini. Muammar (2008) menyebutkan bahwa konsentrasi Cd pada sedimen di lokasi penelitian yang sama adalah 4,18 ppm. Sehingga dapat dikatakan bahwa sedimen habitat kerang ini merupakan penyuplai utama kandungan logam berat Cd yang terakumulasi di dalam tubuh kerang darah (*A. granosa*). Muammar (2008) juga memperoleh adanya faktor eksternal seperti salinitas yang juga mempengaruhi akumulasi logam berat Cd pada kerang darah (*A. granosa*). Rendahnya salinitas pada lokasi penelitian yaitu 15 ‰ menyebabkan bioakumulasi Cd yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Effendi (2003) bahwa salinitas air laut merupakan salah satu parameter oseanografi yang mempunyai pengaruh terhadap penyebaran logam berat, karena semakin rendah salinitas menyebabkan bioakumulasi logam berat yang besar sehingga pada daerah yang salinitasnya rendah

kemungkinan konsentrasi logam beratnya juga tinggi. Nontji (1993) menyatakan bahwa di perairan samudera, salinitas biasanya berkisar antara 34 ‰-35 ‰.

Hal tersebut tentunya terkait dengan karakter logam berat Cd yang mempunyai penyebaran sangat luas di alam (Palar, 1994). Logam berat Cd dan bermacam-macam bentuk persenyawaannya dapat masuk ke lingkungan terutama merupakan efek sampingan dari aktivitas yang dilakukan oleh manusia seperti industri. Selain itu, menurut Nolan *et al.* (1984), logam berat Cd terakumulasi pada organ insang, hepatopankreas, ginjal dan mantel. Logam ini masuk ke tubuh hewan melalui dua jalan yaitu saluran pencernaan dan saluran pernapasan. Dalam usus, logam berat Cd menempel pada dinding usus sehingga diduga sel epitel usus mengatur absorpsi Cd. Setelah logam berat Cd diabsorpsi masuk ke dalam tubuh kemudian didistribusikan oleh darah ke berbagai jaringan, terutama terakumulasi dalam hati dan ginjal (Darmono, 1995).

Konsentrasi kandungan logam berat Cd yang tinggi tersebut, baik pada sedimen maupun pada kerang darah (*A. granosa*) diperkirakan karena letak Teluk Losari dekat dengan pemukiman penduduk, galangan kapal dan industri yang menggunakan logam berat Cd sebagai bahan baku antara lain industri cat, plastik, percetakan, tekstil dan lain-lain. Selain itu, Teluk Losari juga merupakan jalur lalu lintas yang dilalui perahu-perahu penangkap ikan dan juga kapal patroli lepas pantai yang menghasilkan buangan oli bekas kapal, tumpahan minyak dan pengelupasan cat kapal. Hal ini sesuai dengan pendapat Palar (1995) yang mengemukakan bahwa aktivitas manusia, industri galangan kapal dan berbagai aktivitas pelabuhan lainnya merupakan salah satu jalur yang mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan logam berat dalam badan air.



Gambar 5. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) (huruf yang sama tidak menunjukkan adanya perbedaan pada $\alpha = 0,05$)

Nilai rata-rata konsentrasi logam berat Cd untuk kerang besar adalah 5,31 ppm dan untuk kerang kecil adalah 6,98 ppm. Dari hasil uji *T-student*, tidak terdapat perbedaan dalam mengakumulasi logam berat Cd ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa distribusi logam berat Cd pada kerang darah (*A. granosa*) pada saat penelitian adalah homogen, ukuran kerang darah (*A. granosa*) di perairan Teluk Losari baik besar maupun kecil tidak memberikan pengaruh terhadap akumulasi konsentrasi logam berat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Aunurohim dkk (2006) bahwa fenomena korelasi positif antara ukuran cangkang dengan kemampuan mengakumulasi logam berat tidak terjadi secara umum termasuk pada kerang darah (*A. granosa*). Hal ini dapat terjadi karena kuatnya pengaruh faktor eksternal yang sangat terkait dengan pola hidup kerang darah (*A. granosa*) dengan mengesampingkan faktor internal dari biota terkait yaitu metabolisme kerang darah (*A. granosa*) yang berbeda ukuran. Faktor eksternal yang dimaksud adalah salinitas, hadirnya senyawa kimia lainnya, suhu, dan derajat keasaman (pH). Disamping itu,

kondisi stress fisiologis organisme juga sangat berpengaruh terhadap peningkatan absorpsi logam berat dari perairan (Darmono, 1995).

Pada Gambar 5 juga menunjukkan standar maksimum kandungan logam berat Cd dalam makanan oleh FAO (1972) dalam Ayu (2006) yang diperbolehkan untuk dikonsumsi yakni sebesar $2,00 \text{ mg.kg}^{-1}$. Oleh karena itu kandungan logam berat Cd yang terakumulasi dalam kerang darah (*A. granosa*) di perairan Teluk Losari berada dalam batas sangat tidak aman untuk dikonsumsi. Dengan kata lain, kerang darah (*A. granosa*) ini telah terkontaminasi logam berat Cd dan tidak layak untuk dikonsumsi manusia.

Apabila dikonsumsi secara terus menerus maka akan muncul gejala keracunan Cd pada manusia, baik secara akut maupun kronis, dapat mengakibatkan gangguan pada sistem pemapasan, kerusakan pada fungsi organ hati dan ginjal, serta gangguan terhadap pertumbuhan tulang yang menyebabkan kerapuhan tulang. Keracunan kronis terjadi bila memakan atau inhalasi dosis kecil Cd dalam waktu yang lama. Gejala akan terjadi setelah selang waktu beberapa lama dan kronik. Kadmium pada keadaan ini menyebabkan nefrotoksisitas, yaitu gejala proteinuria, glikosuria, dan aminoasidiuria disertai dengan penurunan laju filtrasi glomerulus ginjal. Kasus keracunan Cd kronis juga menyebabkan gangguan kardiovaskuler dan hipertensi. Hal tersebut terjadi karena tingginya afinitas jaringan ginjal terhadap kadmium. Gejala hipertensi ini tidak selalu dijumpai pada kasus keracunan Cd kronik. Kadmium dapat menyebabkan osteomalasea karena terjadinya gangguan daya keseimbangan kandungan kalsium dan fosfat dalam ginjal (Darmono, 1995).

3. Timbel (Pb)

Rata-rata konsentrasi logam berat Pb dalam kerang darah (*A. granosa*) yakni sebesar 1,61 ppm. Nilai ini sangat berbeda bila dibandingkan dengan hasil penelitian Amin (2002) dengan hewan uji yang sama di perairan sekitar bekas penambangan timah Pulau Singkep, rata-rata konsentrasi logam berat Pb yang diperoleh adalah 6,69 ppm. Hasil penelitian Hendra (2001) dalam Amin (2002) memperlihatkan rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada kerang darah (*A. granosa*) di Batu Ampar adalah 10,39 ppm, nilai ini justru lebih tinggi dibanding dengan yang lainnya. Konsentrasi logam berat Pb di Batu Ampar berasal dari daerah timbunan dan tempat penumpukan pipa perindustrian dan merupakan daerah pelabuhan yang padat dengan lalu lintas pelayaran, sedangkan di perairan sekitar bekas penambangan timah Pulau Singkep berdiri industri-industri yang bergerak di dalam kegiatan penambangan pasir dan industri galangan kapal. Namun, jika dibandingkan dengan hasil penelitian Ismail dkk (1995), rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada kerang darah (*A. granosa*) di Perairan Rawameneng dan di Teluk Losari tidak berbeda, dimana rata-rata konsentrasi logam berat Pb pada kerang darah (*A. granosa*) di Perairan Rawameneng adalah 1,6 ppm.

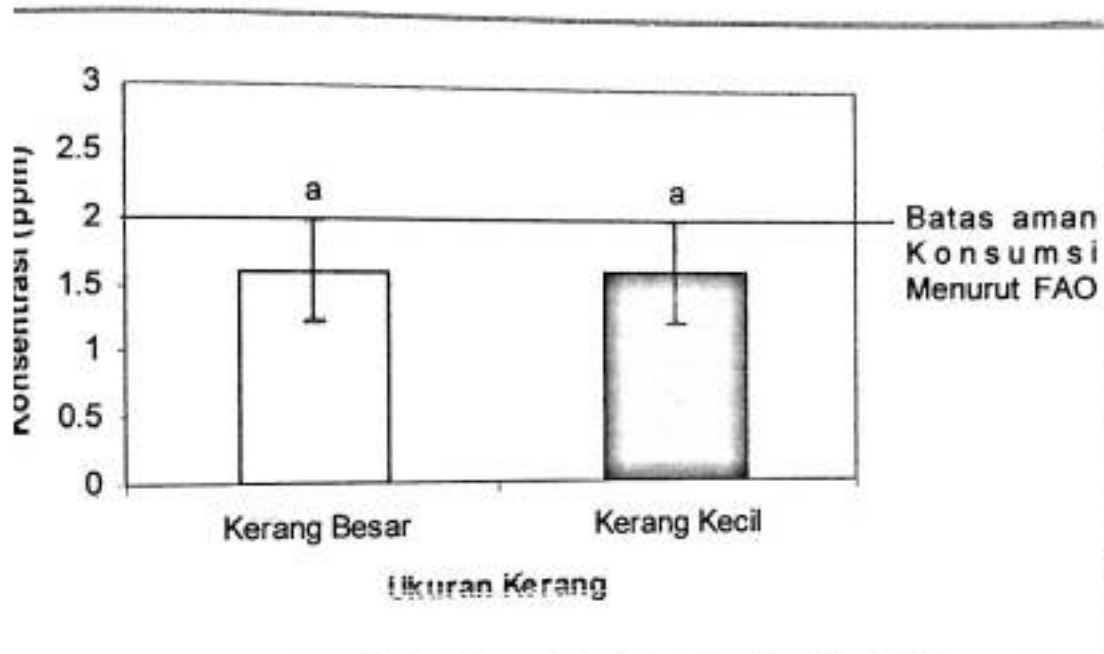
Sebagaimana diketahui bahwa meningkatnya laju pembangunan di sekitar Teluk Losari saat ini telah mengakibatkan meningkatnya pencemaran udara melalui emisi bahan bakar kendaraan bermotor. Sumbangan logam berat Pb dari udara ini dapat diendapkan ke perairan, baik melalui proses alamiah pengkristalan logam berat Pb dengan bantuan hujan, maupun masuk ke badan perairan sebagai dampak dari aktifitas kehidupan manusia dengan berbagai macam bentuk. Di antaranya yaitu air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan logam berat Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut

jatuh pada jalur-jalur perairan seperti anak-anak sungai untuk kemudian terus menuju lautan. Umumnya jalur buangan dari sisa perindustrian yang menggunakan logam berat Pb akan merusak tata buangan lingkungan perairan yang dimasukinya (menjadikan sungai dan alurnya tercemar) (Palar, 1995). Pada lokasi penelitian yang sama, Muammar (2008) memperoleh nilai konsentrasi Pb pada sedimen adalah 4,77 ppm. Tingginya konsentrasi Pb pada sedimen habitat kerang darah (*A. granosa*) ini merupakan hasil pengendapan Pb dari air dan sumbangan dari udara, yang juga merupakan penyebab adanya konsentrasi logam berat Pb dalam kerang ini.

Logam Pb merupakan salah satu logam berat yang berbahaya dimana logam berat Pb merupakan senyawa yang mudah berikatan dengan unsur-unsur lain seperti Nitrogen (Adnan, 2004). Selain itu, logam berat Pb mempunyai afinitas yang sangat besar terhadap belerang, logam ini menyerang ikatan-ikatan belerang dalam enzim-enzim sehingga enzim-enzim yang bersangkutan menjadi tidak berfungsi (Pararaja, 2008).

Nilai rata-rata konsentrasi logam berat Pb untuk kerang besar adalah 1,61 ppm dan untuk kerang kecil adalah 1,60 ppm. Dari hasil uji *T-student*, tidak terdapat perbedaan ukuran kerang dalam mengakumulasi logam berat Pb ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa distribusi logam berat Pb pada kerang darah (*A. granosa*) pada saat penelitian adalah homogen, ukuran kerang darah (*A. granosa*) di perairan Teluk Losari baik besar maupun kecil tidak memberikan pengaruh terhadap akumulasi konsentrasi logam berat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Amin (2002) bahwa ukuran tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap kandungan logam berat Pb dan Cu yang diakumulasi oleh kerang darah (*A. granosa*).

Tidak terdapatnya perbedaan antara kerang darah (*A. granosa*) yang berbeda ukuran dengan logam berat Pb yang diukur dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mempengaruhi kandungan logam berat pada kerang darah (*A. granosa*) seperti salinitas, hadirnya senyawa-senyawa kimia lainnya, temperatur dan pH (derajat keasaman) (Amin, 2002).



Gambar 6. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) (huruf yang sama tidak menunjukkan adanya perbedaan pada $\alpha = 0,05$)

Pada Gambar 6 menunjukkan standar maksimum logam berat Pb dalam makanan oleh FAO (1972) dalam Ayu (2006) yang diperbolehkan untuk dikonsumsi yaitu sebesar $2,00 \text{ mg.kg}^{-1}$. Oleh karena itu, kandungan logam berat Pb yang terakumulasi dalam kerang darah (*A. granosa*) yang terdapat di perairan Teluk Losari masih berada dalam batas aman untuk dikonsumsi karena kandungan Pb yang terakumulasi tidak melebihi $2,00 \text{ mg.kg}^{-1}$.

C. Tembaga (Cu)

Rata-rata konsentrasi logam berat Cu dalam kerang darah (*A. granosa*) yakni sebesar 1,13 ppm. Nilai ini tidak jauh berbeda dengan konsentrasi logam berat Cu pada *Anadara senilis* di Nigeria yaitu 1,0 ppm (Aunurohim dkk, 2006). Konsentrasi logam berat Cu pada kerang darah (*A. granosa*) terkait dengan keberadaan Cu di alam misalnya pada sedimen habitat kerang itu sendiri. Hasil penelitian Muammar (2008) pada lokasi penelitian yang sama menyebutkan bahwa konsentrasi logam berat Cu pada sedimen adalah 14,22 ppm. Hal ini sesuai dengan pernyataan Connel dan Miller (1995) bahwa Cu adalah logam berat yang reaktif dan mudah mengendap pada sedimen.

Hasil penelitian Aunurohim dkk (2006) menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi Cu pada *Anadara scapha* di Kepulauan Kangean adalah 4,77 ppm. Akumulasi logam berat Cu, Cd dan Zn pada makrofauna bentik di Kepulauan Kangean relatif sangat tinggi dengan penelitian sebelumnya di beberapa lokasi di dunia, baik di zona sedang maupun di zona tropis dan juga nilai ambang batas yang direkomendasikan oleh WHO (Darmono, 2001). Hal ini terkait pada lokasi pengambilan hewan uji di daerah pintu masuk jalur transportasi Pelabuhan Kalianget Sumenep dengan Kepulauan Kangean, Madura. Sementara itu, rata-rata konsentrasi logam berat Cu pada kerang darah (*A. granosa*) di Perairan Dumai (Nugrahadi, 1998 dalam Amin, 2002) adalah 9,57 ppm.

Selanjutnya Seng dkk (1994) dalam Amin (2002) menyatakan bahwa logam berat secara alami di lingkungan perairan berasal dari material geokimia dan keberadaannya telah ditambah oleh aktivitas manusia seperti peratambangan. Dengan muatannya yang tersuspensi tinggi dalam air, akan tinggi pula yang dikonsumsi oleh organisme.

Logam berat ini termasuk logam esensial yang berarti keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun (Pararaja, 2008).

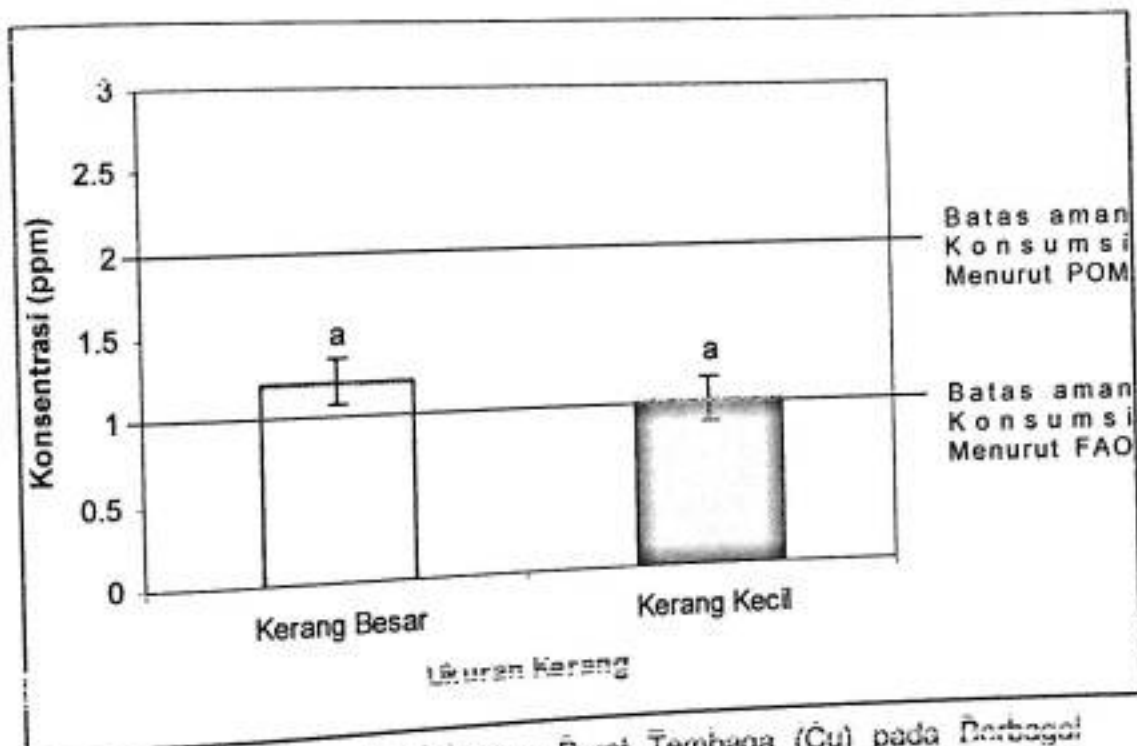
Penyerapan Cu dilakukan oleh organisme melalui insang dan saluran pencernaan (Darmono, 1995). Toksisitas yang dimiliki Cu akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya apabila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi batas toleransi organisme tersebut (Palar, 1994). Ditambahkan oleh Palar (1994), pencemaran Cu biasanya berasal dari industri peralatan listrik, peleburan logam, katalisator, algasida, pengawet kayu dan cat *anti fouling*. Aktivitas industri tersebut umum ditemukan di perairan Teluk Losari dan sekitarnya.

Logam ini merupakan logam berat yang sangat membahayakan kesehatan manusia. Namun demikian, logam Cu juga dibutuhkan dalam kehidupan makhluk hidup sebagai elemen mikro. Logam Cu dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif dan pembentukan kompleks Cu-protein yang dibutuhkan untuk pembentukan haemoglobin, kolagen, pembuluh darah, dan myelin otak (Darmono, 1995).

Palar (1995) juga menambahkan bahwa toksisitas yang dimiliki Cu akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait, tetapi bila dalam batas yang dibutuhkan Cu yang terdapat dalam moluska dan krustase tingkat tinggi berfungsi sebagai pigmen respirasi (Clark, 1989).

Nilai rata-rata konsentrasi logam berat Cu untuk kerang besar adalah 1,23 ppm dan untuk kerang kecil adalah 1,03 ppm. Dari hasil uji *T-student*, tidak terdapat perbedaan dalam mengakumulasi logam berat Cu ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa distribusi logam berat Cu pada kerang darah (A.

granosa) pada saat penelitian adalah homogen, ukuran kerang darah (*A. granosa*) di perairan Teluk Losari baik besar maupun kecil tidak memberikan pengaruh terhadap akumulasi konsentrasi logam berat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Aunurohim dkk (2006) bahwa fenomena korelasi positif antara ukuran cangkang dengan kemampuan mengakumulasi logam berat tidak terjadi secara umum, yang dipertegas oleh pernyataan Amin (2002) bahwa ukuran tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap kandungan logam berat Pb dan Cu yang diakumulasi oleh kerang darah (*A. granosa*).



Gambar 7. Konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) (huruf yang sama tidak menunjukkan adanya perbedaan pada $\alpha = 0,05$)

Tidak terdapatnya perbedaan kerang darah (*A. granosa*) yang berbeda ukuran dengan logam berat Cu yang diukur dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mempengaruhi kandungan logam berat pada kerang darah (*A. granosa*) seperti kadar garam (air laut), alkalinitas (air tawar), hadirnya senyawa kimia lainnya, temperatur, dan derajat keasaman (pH). Disamping itu, kondisi stress fisiologis organisme juga sangat berpengaruh terhadap peningkatan absorpsi logam berat dari perairan (Darmono, 1995).

Pada Gambar 7 juga menunjukkan standar maksimum kandungan logam berat Cu dalam makanan hasil laut oleh FAO (1972) dalam Ayu (2006) yang diperbolehkan untuk dikonsumsi yaitu sebesar $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. Jika dibandingkan dengan standar maksimum untuk konsumsi menurut FAO (1972) dalam Ayu (2006) maka kandungan Cu yang terakumulasi dalam kerang darah (*A. granosa*) di perairan Teluk Losari telah melewati batas aman yang diperbolehkan untuk dikonsumsi. Tetapi jika dibandingkan dengan standar aman logam berat Cu dalam makanan menurut POM (1989) sebesar $2,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ maka kandungan Cu pada kerang darah (*A. granosa*) masih layak untuk dikonsumsi.

Toksisitas yang dimiliki logam berat Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait. Sehingga apabila dikonsumsi secara terus menerus maka akan muncul efek keracunan yang ditimbulkan akibat terpapar oleh logam berat Cu yaitu kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung (Palar, 1994).

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Tingkat konsentrasi logam berat pada kerang darah (*A. granosa*) baik yang berukuran besar maupun yang berukuran kecil berturut-turut dari tinggi ke rendah adalah kadmium, timbel, dan tembaga ($Cd > Pb > Cu$).
2. Ukuran kerang darah (*A. granosa*) tidak menunjukkan perbedaan dalam mengakumulasi logam berat.
3. Kerang darah (*A. granosa*) yang terdapat di perairan Teluk Losari Makassar telah melewati batas aman oleh FAO dan POM, sehingga tidak layak untuk dikonsumsi.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, kiranya Pemerintah Kota Makassar dapat mengambil tindakan agar tidak terjadi peningkatan pencemaran seperti pengadaan sistem pengolahan dan penyaringan limbah sebelum dibuang ke laut, sehingga limbah yang terbuang tidak membahayakan lingkungan, biota maupun manusia; dan penyuluhan kepada masyarakat agar tidak mengkonsumsi biota yang tercemar juga perlu dilakukan mengingat bioakumulasi dan biomagnifikasi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kandungan logam berat pada organ pencernaan, insang dan mantel pada kerang darah (*A. granosa*).

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M. 2004. Analisis Kandungan Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Jaringan Akar, Batang dan Daun Mangrove (*Rhizophora mucronata*) di Perairan Larea-rea Kabupaten Sinjai [skripsi]. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Amin, B. 2002. Kandungan Logam Berat pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Sekitar Bekas Penambangan Timah Pulau Singkep Kepulauan Riau. Jurnal Torani Volume 12. Makassar.
- Aunurohim dkk. 2004. Konsentrasi Logam Berat pada Makrofauna Bentik di Kepulauan Kangean Madura. <http://journal.discoveryindonesia.com/index.php/hayati/article/viewFile/14/15> [diakses : 09 Mei 2008].
- Ayu, A. R. P., 2006. Kandungan Kadmium (Cd) Tembaga (Cu) dan Timbel (Pb) pada Kerang Hijau (*Perna viridis* L) di Perairan Makassar [skripsi]. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Clark, R. B. 1986. Marine Pollution. Clarendon Press, Oxford.
- Connel, D.W dan Miller, J.G, 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Darmono. 1995. Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. UI Press. Jakarta.
- Dirjen POM. 1989. Standar Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Makanan. Direktorat Jenderal POM RI. Jakarta
- Fachruddin, L. dan Nurdin, N. 2002. Kandungan Logam Berat (Cd, Pb, Zn) pada Ikan Baronang Lingkis (*Siganus canaliculatus*) dan Kerang Kepah *Mactra violacea* di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Rajawali, Makassar. Jurnal Torani Volume 12. Makassar.
- FAO. 2008. *Anadara granosa*. <http://www.fao.org/fishery/species/3503> [diakses : 02 Mei 2008].
- Hasim. 2008. Kerang sebagai biofilter logam. http://www.unisosdem.org/article_detail.php?aid=2534&coid=2&caid=40&gid=5 [diakses : 23 Mei 2008].
- Hutabarat, S dan SM. Evans. 1984. Pengantar Oseanografi. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Hutagalung, H.P. 1991. Pencemaran Laut oleh Logam Berat. Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya. LIPI. Jakarta
- Inswiasri, dkk. 1995. Kandungan Logam Kadmium dalam Biota Laut Jenis Kerang-Kerangan dari Teluk Jakarta.

- <http://www.kalbe.co.id/files/files/08kandunganKadmium103.pdf/08Kandungan103.html> [diakses : 30 April 2008].
- Kohler, K. and H. Risgard. 1982. Formation of Methallothionein in Relation to Accumulation of Cadmium in the Mussels *Mytilus edulis*. Marine Pollution Bulletin 66:53-58.
- Kunarso, D.H dan Ruyitno., 1991. Status Pencemaran Laut Di Indonesia dan Teknik Pemantauannya. LON-LIA, Jakarta.
- Kurnianta, M.J., 2002. Profil Kandungan Logam Berat Cadmium (Cd) dan Krom dalam Daging Kupang Beras (*Tellina versicolor*) [skripsi]. www.profil.kandungan.logam.berat.cadmium.dan.krom.dalam.daging.kupang.beras.pdf [diakses : 09 April 2008].
- Marganof. 2003. Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, dan Tembaga) di Perairan. http://tumoutou.net/702_07134/marganof.pdf [diakses : 04 Mei 2008].
- Muammar, Andi. 2008. Konsentrasi Logam Berat Timbel (Pb), Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) pada Air, Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Teluk Losari Makassar [draf skripsi]. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Neff, J.M. 2002. Bioaccumulation in Marine Organisms. Elsevier Ltd. United Kingdom.
- Nus. 2008. Blood Cockle *Anadara granosa* Family Arcidae. <http://mangrove.nus.edu.sg/pub/seashore/text/156.htm> [diakses : 02 Mei 2008].
- Palar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rinika Cipta, Jakarta.
- Pararaja, Arifin. 2008. Timbal dan Aspek-aspeknya. <http://smk3ae.wordpress.com/2008/05/21/timbal-pb-dan-aspek-aspeknya.com>. Madja [diakses : 04 Mei 2008]
- PIPP-DKP. 2008. Kerang Darah (*Anadara granosa*). http://images.google.co.id/imgres?imgurl=http://www.dkp.go.id/images/Si_telinga.gif&imgrefurl=http://ikanmania.wordpress.com/2007/&h=285&w=300&sz=76&hl=id&start=1&tbnid=X8Qvz_nf7VVlgM:&tbnh=110&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Danadara%2Bkerang%2Bbulu%26gbv%3D2%26hl%3Did%26sa%3DG [diakses : 30 April 2008].
- Shimadzu. 1997. Pedoman Instruksi AA-6200. Shimadzu Corporation. Kyoto Japan.
- Simkiss, K and A.Z. Mason. 1983. Metal Ions: Metabolic and Toxic Effects, in:the Mollusca: Enviromental Biochemistry and Physiology Vol 2. Academic Press 15:123-135.
- Soetjipto, P. 2002. Kerang vs Logam Berat. <http://www.mail-archive.com/balita-anda@indoglobal.com/msg39903.html> [diakses : 23 Mei 2008].

- Tetelepta, C.H.A. 1990. Hubungan Antara Kandungan Logam Berat Zn, Pb, Cd, dan Hg dalam Habitat Serta Jaringan Tubuh Terhadap Kemungkinan Terjadinya Anomali Ove Kerang Darah (*Anadara granosa* L) di Muara Hati dan Muara Mauk [tesis]. Bogor. Program Pasca Sarjana, IPB. Bogor.
- Tricity. 2008. Family Arcidae. <http://shells.tricity.wsu.edu/ArcherdShellCollection/Bivalvia/Arcidae.html> [diakses : 02 Mei 2008].
- Triyogo. 2005. Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis* L) di Perairan Kamal Muara Teluk Jakarta. [skripsi]. IPB. Bogor.
- Viarengo, A and L. Canesi. 1991. Mussels as Biological Indicators of Pollution. *Aquaculture* 94:225-243.
- Widdows, J. and P. Donkin. 1992. Mussels and Enviromental Contaminants: Bioaccumulation and Physiological Aspects. *Development in Aquaculture and Fisheries Science* 25:383-424.
- Wikipedia. 2008. Kadmium. <http://id.wikipedia.org/wiki/Kadmium> [diakses : 09 Mei 2008].

- Tetelepta, C.H.A. 1990. Hubungan Antara Kandungan Logam Berat Zn, Pb, Cd, dan Hg dalam Habitat Serta Jaringan Tubuh Terhadap Kemungkinan Terjadinya Anomali Ove Kerang Darah (*Anadara granosa* L) di Muara Hati dan Muara Mauk [tesis]. Bogor. Program Pasca Sarjana, IPB. Bogor.
- Tricity. 2008. Family Arcidae. <http://shells.tricity.wsu.edu/ArcherdShellCollection/Bivalvia/Arcidae.html> [diakses : 02 Mei 2008].
- Triyogo. 2005. Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis* L) di Perairan Kamal Muara Teluk Jakarta. [skripsi]. IPB. Bogor.
- Viarengo, A and L. Canesi. 1991. Mussels as Biological Indicators of Pollution. *Aquaculture* 94:225-243.
- Widdows, J. and P. Donkin. 1992. Mussels and Enviromental Contaminants: Bioaccumulation and Physiological Aspects. *Development in Aquaculture and Fisheries Science* 25:383-424.
- Wikipedia. 2008. Kadmium. <http://id.wikipedia.org/wiki/Kadmium> [diakses : 09 Mei 2008].

• Lampiran •

Lampiran 1. Data Panjang Kerang Darah (*Anadara granosa*) Sebagai Hewan Uji (dalam mm)

A. Kerang Besar

	ULANGAN		
	I	II	III
	33.2	31.5	43.9
	45.4	42.2	35.6
	39.6	32.4	39.9
Rata-rata	39.4	35.4	39.8

B. Kerang Kecil

	ULANGAN		
	I	II	III
	25.1	25.4	27.5
	26.8	26.5	27.8
	21.7	24.1	22.4
	24.3	23.7	24.5
	23.3	22.1	21.3
Rata-Rata	24.24	24.36	24.7

Lampiran 2. Data Mentah Konsentrasi Logam Berat yang Sesungguhnya (dalam ppm)

Ulangan	Timbal (Pb)	Kadmium (Cd)	Tembaga (Cu)	Kerang
I	1.58	3.22	1.11	Besar
II	1.09	5.56	1.09	
III	2.17	7.16	1.49	
I	2.51	6.71	0.77	Kecil
II	1.32	8.47	1.25	
III	0.97	5.77	1.07	

Rata-rata [Kerang Besar]	1.61	5.31	1.23
Rata-rata [Kerang kecil]	1.60	6.98	1.03

Ulangan	Timbal (Pb)	Kadmium (Cd)	Tembaga (Cu)	Media
I	4.44	2.96	13.19	Sedimen
II	4.38	4.59	13.43	
III	5.49	4.99	16.04	
Rata-rata [sedimen]	4.77	4.18	14.22	

Lampiran 3. Hasil Analisis Sidik Ragam (One-way ANOVA) $\alpha = 0,05$

Oneway Kerang Besar

Descriptives

Konsentrasi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Cd	3	5,3095	1,98182	1,14420	,3864	10,2326	3,22	7,16
Cu	3	1,2271	,22471	,12974	,6689	1,7853	1,09	1,49
Pb	3	1,6095	,54115	,31243	,2652	2,9538	1,09	2,17
Total	9	2,7154	2,20920	,73640	1,0172	4,4135	1,09	7,16

Test of Homogeneity of Variances

Konsentrasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3,539	2	6	,097

ANOVA

Konsentrasi		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)	30,503	2	15,251	10,713	,010
	Linear Term	20,536	1	20,536	14,425	,009
	Contrast	9,967	1	9,967	7,001	,038
	Deviation	8,542	6	1,424		
Within Groups		39,044	8			
Total						

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi Bonferroni

(I) Logam	(J) Logam	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Cd	Cu	4,08240(*)	,97422	,017	,8797	7,2851
	Pb	3,70005(*)	,97422	,027	,4974	6,9027
Cu	Cd	-4,08240(*)	,97422	,017	-7,2851	-,8797
	Pb	-,38235	,97422	1,000	-3,5850	2,8203
Pb	Cd	-3,70005(*)	,97422	,027	-6,9027	-,4974
	Cu	,38235	,97422	1,000	-2,8203	3,5850

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Oneway Kerang Kecil

Descriptives

Konsentrasi		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
		3	6,9838	1,37389	,79322	3,5708	10,3967	5,77	8,47
	Cd	3	1,0287	,24282	,14019	,4255	1,6319	,77	1,25
	Cu	3	1,6023	,80516	,46486	-,3978	3,6024	,97	2,51
	Pb	3	3,2049	2,95681	,98560	,9321	5,4777	,77	8,47
	Total	9							

Test of Homogeneity of Variances

Konsentrasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,900	2	6	,131

ANOVA

Konsentrasi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	64,752	2	32,376	37,431	,000
(Combined)					
Linear Term	43,440	1	43,440	50,223	,000
Contrast	21,312	1	21,312	24,639	,003
Deviation	5,190	6	,865		
Within Groups	69,942	8			
Total					

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi

Bonferroni		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) Logam	(J) Logam				Lower Bound	Upper Bound
Cd	Cu	5,95507(*)	,75936	,001	3,4587	8,4514
	Pb	5,38147(*)	,75936	,001	2,8851	7,8778
Cu	Cd	-5,95507(*)	,75936	,001	-8,4514	-3,4587
	Pb	-,57360	,75936	1,000	-3,0700	1,9228
Pb	Cd	-5,38147(*)	,75936	,001	-7,8778	-2,8851
	Cu	,57360	,75936	1,000	-1,9228	3,0700

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Lampiran 4. Hasil Uji T-student untuk Logam Berat Kadmium (Cd)

T-Test Kadmium

Group Statistics

	Kerang	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Cd	KB	3	5,3095	1,98182	1,14420
	KK	3	6,9838	1,37389	,79322

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Cd		,345	,589	-1,203	4	,295	-1,67425	1,39226	-5,53979	2,19129
	Equal variances assumed									
	Equal variances not assumed				3,562	,303	-1,67425	1,39226	-5,73483	2,38633

Lampiran 5. Hasil Uji T-student untuk Logam Berat Timbel (Pb)

T-Test Timbel

Group Statistics

Kerang	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pb KB	3	1,609467	,5411491	,3124326
KK	3	1,602300	,8051603	,4648595

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means				95% Confidence Interval of the Difference				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Pb	Equal variances assumed	,882	,401	,013	4	,990	,0071667	,5600968	-1,5479114	1,5622447
	Equal variances not assumed			,013	3,501	,990	,0071667	,5600968	-1,6394216	1,6537549

Lampiran 6. Hasil Uji T-student untuk Logam Berat Tembaga (Cu)

T-Test Tembaga
Group Statistics

	Keran g	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Cu	KB	3	1,2271	,22471	,12974
	KK	3	1,0287	,24282	,14019

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means				95% Confidence Interval of the Difference				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Cu	Equal variances assumed	,000	,999	1,039	4	,358	,19842	,19101	-,33192	,72875
	Equal variances not assumed			1,039	3,976	,358	,19842	,19101	-,33317	,73000