

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA SPESIES IKAN
KARANG DI PERAIRAN KEPULAUAN KRAKATAU
PROVINSI LAMPUNG DENGAN ICP-OES**

(Skripsi)

Oleh

EKA PRASETIAWATI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA SPESIES IKAN KARANG DI PERAIRAN KEPULAUAN KRAKATAU PROVINSI LAMPUNG DENGAN ICP-OES

Oleh

Eka Prasetiawati

Kepulauan Krakatau merupakan kawasan Cagar Alam yang masih aktif dengan aktivitas vulkanik Gunung Anak Krakatau. Abu vulkanik yang diteruskan mengandung material kimia berbahaya berupa logam berat. Logam berat yang masuk ke dalam perairan pada kadar tertentu dapat menyebabkan pencemaran yang membahayakan bagi kehidupan biota, sumberdaya dan kenyamanan ekosistem laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat Pb, Ni, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn, Co, dan Ag pada spesies ikan karang di Perairan Kepulauan Krakatau. Pengambilan sampel ikan dilakukan pada tiga titik, yaitu Perairan Pulau Anak Krakatau, Pulau Panjang dan Pulau Rakata. Jumlah individu ikan karang yang didapatkan adalah 9 individu yang terdiri dari 5 famili, 5 genera dan 7 spesies. Sampel ikan karang dianalisis menggunakan ICP-OES.

Kandungan logam berat Pb, Ni, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn, Co, dan Ag pada semua spesies ikan karang masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh WHO, FAO, WHO/FAO dan IAEA-407. Kandungan logam berat tertinggi pada spesies ikan karang adalah Fe dengan rerata nilai yaitu 115,88 µg/kg. dan terendah adalah Cd dengan rerata nilai yaitu 1,21 µg/kg. Sementara itu, logam yang terkandung pada *Z. canescens* paling tinggi adalah Fe dengan nilai 144,27 µg/kg dan paling rendah adalah Co dengan nilai 0,99 µg/kg.

Kata kunci : Logam berat, ikan karang, ICP-OES, Krakatau

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA SPESIES IKAN
KARANG DI PERAIRAN KEPULAUAN KRAKATAU
PROVINSI LAMPUNG DENGAN ICP-OES**

Oleh

EKA PRASETIAWATI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi

**: ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT
PADA SPESIES IKAN KARANG DI
PERAIRAN KEPULAUAN KRAKATAU
PROVINSI LAMPUNG DENGAN ICP-OES**

Nama Mahasiswa

: Eka Prasetiawati

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1417021034

Program Studi

: Biologi

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.

NIP 19610611 198603 2 001

Drs. R. Supriyanto, M.Si.

NIP 19581111 199003 1 001

2. Ketua Jurusan Biologi

Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc

NIP 19660305 199103 2 001

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

Ketua

: Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.

Sekretaris

: Drs. R. Supriyanto, M.Si.

Penguji

Bukan Pembimbing

: Prof. Dr. Ida Farida Rivai

2. **Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

Prof. Warsito, S.Si, D.E.A., Ph.D.

NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 02 Februari 2018



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sri Pendowo, pada tanggal 02 April 1996. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara oleh pasangan Bapak Suwito dan Ibu Nonik.

Penulis mulai menempuh pendidikan pertamanya di Taman Kanak-Kanak SDN 1 Sri Pendowo pada tahun 2001. Pada tahun 2002, penulis melanjutkan

pendidikannya di Sekolah Dasar Negeri 1 Sri Pendowo. Kemudian Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di MTS Al-fatah Natar pada tahun 2008. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di MA Al-Fatah Natar

Pada tahun 2014, penulis lulus dan diterima sebagai salah satu mahasiswa Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Biologi FMIPA Unila. Penulis pernah aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA Unila sebagai anggota Bidang Dana dan Usaha (DANUS) pada tahun 2015-2016.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Rama Kelandungan Kecamatan Seputih Raman, Kabupaten Lampung Tengah pada Januari-Februari

2017 dan melaksanakan Kerja Praktik di PT SMART Tbk Centre Bogor pada Juli-Agustus 2017 dengan judul ***“Optimasi Suhu Annealing Primer Gen-Gen Pengendali Sifat Pertambahan Tinggi Batang yang Lambat Pada Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq)”***.

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan

Rahmat, Ridho, dan Karunia-Nya yang tak henti-hentinya Dia berikan,

Ku persembahkan karya Kecilku ini untuk :

Ibu dan Bapakku tercinta yang senantiasa mengucap namaku dalam do'a,

Mencurahkan kasih sayangnya untukku, serta selalu mendukung dan

menasihati dalam setiap proses yang aku jalani,

Adik-adikku tersayang, Rizqi dan Dhani yang juga selalu memberikan canda

tawa dan juga semangat,

Bapak dan Ibu Dosen yang selalu memberikan Ilmu yang bermanfaat,

yang membuat diriku memahami akan kebesaran Allah SWT dan

membantuku dalam menggapai kesuksesanku,

Teman-teman, kakak-kakak, dan adik-adik yang selalu memberiku

pengalaman berharga, motivasi, dan semangat,

serta Almamaterku tercinta.

MOTTO

“ Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Q.S Al-Baqoroh: 286)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum kecuali kaum itu sendiri yang mengubah apa-apa yang pada diri mereka ”
(Q.S Ar-Ra’ad: 11)

“ Dan apabila dikatakan, “Berdirilah kamu,” maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat “.
(Q.S Al-Mujaadilah: 11)

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur Penulis haturkan kepada ALLAH SWT, Dzat yang Maha Besar, Maha Memiliki Ilmu, serta lantunan sholawat beriring salam menjadi persembahan penuh kerinduan pada suri tauladan kita, Rasulullah Muhammad SAW.

Penulis telah menyelesaikan skripsi dengan judul **“ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA SPESIES IKAN KARANG DI PERAIRAN KEPULAUAN KRAKATAU PROVINSI LAMPUNG DENGAN ICP-OES”** yang merupakan bagian dari penelitian institusi- didanai oleh Puslitbang Pesisir dan Kelautan – LPPM Universitas Lampung. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya penulis tujukan kepada semua yang telah membantu sejak memulai kegiatan sampai terselesaikannya skripsi ini, ucapan tulus penulis sampaikan kepada :

1. Ibu Endang Linirin Widiastuti, Ph.D., selaku Pembimbing I atas semua ilmu, bantuan, bimbingan, nasihat, saran, dan pengarahan, baik selama perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi.
2. Bapak R. Supriyanto, M.Si., selaku Pembimbing 2 atas semua ilmu, bantuan, bimbingan, nasihat, saran, dan pengarahannya selama penyusunan skripsi.

3. Ibu Prof. Dr. Ida Farida Rivai selaku Pembahas atas semua ilmu, bantuan, bimbingan, nasihat, saran dan pengarahan, baik selama perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi.
4. Ibu Dr. Endang Nurcahyani, M.Si., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, nasihat, dan motivasi selama masa kuliah.
5. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P., selaku Rektor Universitas Lampung.
6. Bapak Warsono, Ph.D., selaku Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung.
7. Seluruh staf Balai Konservasi Sumber Daya Alam Lampung, atas bimbingan, bantuan, dukungan, dan kerjasamanya selama proses penelitian ini berlangsung.
8. Prof. Warsito, S.Si., D.E.A, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
9. Ibu Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Lampung.
10. Ibu Dr. Emantis Rosa, M. Biomed., selaku Kepala Laboratorium Biologi Molekuler dan Mbak Nunung Cahyawati, A.Md., selaku Laboran yang telah mengizinkan dan membantu penulis melaksanakan penelitian di Laboratorium.
11. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung, terima kasih telah banyak memberikan ilmu pengetahuan selama perkuliahan.
12. Kakak Kadek Wisne, Muchlis Aditya, dan Jepri, Gita Puspita Sari, dan M. Husien Ferdiansyah atas segala bantuan yang diberikan kepada penulis selama tahap pengambilan sampel di Kepulauan Krakatau.

13. Kedua Orang Tua dan Adik-adikku tercinta yang telah memberikan kasih sayang, dukungan semangat, perhatian, dan do'a kepada penulis.
14. Rekan-rekan perjuangan, Intan, Vielda, Nabiilah, dan Irani atas bantuan, kebersamaan, dan kerjasamanya selama penelitian berlangsung.
15. Sahabat sekaligus saudara, Vielda Rahmah, Intan Aghniya, Irani Maya, Nabiilah Hanuun, Hona Anjelina, dan Retno Wulantari atas perhatian, dukungan, semangat, dan canda tawa yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun ini.
16. Teman-teman terdekat, Muthia Utriana dan M.F. Hai Fani yang selalu mendukung dan menyemangati selama ini.
17. Teman-teman Biologi Angkatan 2014 atas keakraban, canda tawa, dukungan, dan kebersamannya yang telah diberikan selama ini.
18. Seluruh kakak dan adik tingkat Jurusan Biologi FMIPA Unila yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas kebersamannya di FMIPA, Universitas Lampung.
19. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan dukungan, kritik dan saran.
20. Serta almamater Universitas Lampung tercinta.

Semoga segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan kebaikan pula dari Allah SWT. Aamiin.

Demikianlah, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan pengetahuan baru kepada setiap orang yang membacanya.

Bandar Lampung, Februari 2018

Penulis,

Eka Prasetiawati

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
E. Kerangka Pikir	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Gunung Berapi	7
B. Pencemaran	8
C. Logam Berat	9
1. Klasifikasi Logam Berat	10
2. Karakteristik Logam Berat	11
a. Kadmium (Cd)	11
b. Timbal (Pb)	13
c. Nikel (Ni)	14
d. Kromium (Cr)	15
e. Mangan (Mn)	18
f. Kobalt (Co)	18
g. Seng (Zn)	19
h. Besi (Fe)	21

i. Perak (Ag)	23
D. Toksisitas Logam Berat	24
E. ICP-OES	25
1. Prinsip Kerja	26
2. Analisis Kualitatif dan Kuantitatif ICP-OES	29
3. Kelebihan dan Kekurangan	30
F. Ikan Karang	31
1. Pengelompokan Ikan Karang	33
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat	38
B. Alat dan Bahan	38
C. Prosedur Kerja	38
1. Tahap Penelitian	38
a. Tahap Persiapan	38
b. Tahap Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel	39
c. Tahap Pengambilan Sampel	39
1) Sampel Ikan Karang	39
2) Pengukuran Parameter Air Laut	40
d. Tahap Preparasi Sampel Ikan Karang.....	40
D. Analisis Data	41
E. Diagram Alir Penelitian	42
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	43
B. Pembahasan	46
1. Parameter Kualitas Air Laut	46
a. Suhu	46
b. pH (derajat keasaman)	46
c. Salinitas	47
d. Kecerahan	47
2. Kandungan Logam Berat	48
3. Distribusi Logam Berat di Perairan Kepulauan Krakatau	55
V. SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	56

B. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	65
Gambar 4-5	65
Gambar 6-8.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penggolongan Ion-Ion Logam Berdasarkan Toksisitas	25
2. Kelebihan dan Kekurangan Teknik-Teknik Analisis Unsur	31
3. Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Kepulauan Krakatau	39
4. Parameter dan Metoda Dalam Analisis Kualitas Air Laut	40
5. Ikan Karang Hasil Pengambilan di Lokasi Penelitian	43
6. Parameter Kualitas Air Laut di Kepulauan Krakatau	43
7. Kandungan Logam Berat di Air Laut	44
8. Kandungan Logam Berat Pada Spesies Ikan Karang	44
9. Rerata Logam Berat Pada Spesies Ikan Karang di Setiap Lokasi Penelitian.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. ICP-OES	28
(a) Penampang Sebuah <i>Torch</i> dan <i>Load Coil</i> ICP-OES yang Menggambarkan Urutan Penyalaan	28
(b) Komponen Utama dan Susunan Instrumen ICP-OES	28
2. Peta Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Kepulauan Krakatau	39
3. Diagram Alir Penelitian	42
4. Sampel Ikan di Titik 1	65
5. Sampel Ikan di Titik 2.....	65
6. Sampel Ikan di Titik 3	66
7. Destruksi Sampel Ikan	66
8. ICP-OES	66

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kepulauan Krakatau beserta perairannya merupakan kawasan cagar alam yang meliputi pulau-pulau kecil, yaitu Pulau Krakatau Besar (Rakata), Pulau Krakatau Kecil (Panjang), Pulau Sertung, dan Pulau Anak Krakatau. Berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Jenderal Hindia Belanda No.83 Stbl 392 tanggal 11 Juli 1919 Jo.No.7 Stbl 392 tanggal 5 Januari 1925, kawasan ini memiliki luas 2.405,10 ha. Untuk menjaga keutuhan serta kesatuan kawasan Cagar Alam Kepulauan Krakatau sebagai salah satu kawasan konservasi kemudian diperluas lagi menjadi 13.735,10 ha. Luas kawasan ini terdiri dari Cagar Alam Laut seluas 11.200 ha dan Cagar Alam daratan seluas 2.535,10 ha (BKSDA, 2012).

Kepulauan Krakatau terletak di Selat Sunda, yaitu antara Pulau Jawa dan Pulau Sumatera. Luas datarannya sekitar 3.090 ha yang terdiri atas Pulau Sertung seluas 1.060 ha, Pulau Panjang seluas 310 ha, Pulau Rakata seluas 1.400 ha, dan Pulau Anak Krakatau seluas 320 ha. Secara geografis Kepulauan Krakatau terletak pada koordinat 6°03'15" - 6°10'30LS dan 105°21'15" - 105°27'45" BT. Sedangkan secara administratif pemerintahan, Kepulauan Krakatau termasuk ke dalam wilayah Desa Pulau Sebesi Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung

Selatan. Sejak tanggal 15 juni 1990 pengelolaannya dilakukan oleh Balai Konservasi Sumber Daya Alam Lampung (BKSDA, 2012).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2014) melaporkan bahwa Gunung Anak Krakatau memiliki sejarah kegiatan vulkanik sejak lahirnya 1930 hingga 2000, telah mengadakan erupsi lebih dari 100 kali baik bersifat eksplosif maupun efusif. Waktu istirahat berkisar antara 1-8 tahun dan umumnya terjadi 4 tahun sekali berupa letusan abu dan lelehan lava. Tercatat mulai 10 Oktober 2010, terjadi letusan abu yang disertai lontaran material pijar dengan ketinggian asap berkisar 100-1700 m dan berlangsung setiap hari sampai saat ini.

Letusan gunung berapi mengandung bahan material vulkanik berupa abu dan pasir vulkanik. Abu maupun pasir vulkanik tersusun atas batuan berukuran besar sampai berukuran halus. Batu yang berukuran besar biasanya jatuh di sekitar kawah sampai radius 5-7 km dari kawah, sedangkan yang berukuran halus dapat jatuh pada jarak mencapai ratusan kilometer bahkan ribuan kilometer dari kawah bergantung oleh hembusan angin (Sudaryo dan Sutjipto, 2009).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu vulkanik gunung merapi mengandung beberapa unsur mayor dan minor. Komposisi unsur mayor yang terkandung diantaranya adalah Si, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, dan Ti. Sedangkan komposisi unsur minor yang terkandung terbagi menjadi unsur logam dan non logam. Unsur logam di antaranya adalah Ba, Co, Cr, Cu, Pb, Sr, Zn, dan Zr.

Selain itu, terdapat beberapa logam berat berbahaya lainnya seperti As, Cd, dan Ni (Wahyuni *et al.*, 2012).

Dalam sistem lingkungan bahan-bahan pencemar seperti pestisida, logam-logam berat berbahaya dapat terakumulasi secara hayati (*bioaccumulation*) melalui rantai makanan. Bioakumulasi berbeda dengan proses-proses lingkungan lainnya karena dapat meningkatkan konsentrasi dan bukan mengencerkan bahan kimia. Bioakumulasi menyangkut beberapa hal, yaitu pengambilan yang cepat dari bahan-bahan kimia pencemar yang sudah larut dalam air (*bioconcentration*), pengambilan yang cepat dari makanan yang sudah dicerna serta residu-residu sediment (Menzer dan Nelson, 1986).

Bahan-bahan pencemar yang masuk ke suatu ekosistem akan masuk kedalam jaringan makanan melalui plankton-plankton dalam air. Plankton yang sudah mengandung residu bahan pencemar dikonsumsi oleh ikan kecil dan konsentrasi bahan pencemar akan semakin meningkat. Selanjutnya ikan-ikan kecil tersebut dimakan oleh ikan yang lebih besar sehingga bahan pencemar tersebut sudah semakin terakumulasi dalam ikan. Ikan besar yang sudah mengakumulasi bahan pencemar, maka melalui proses bioakumulasi dapat mematikan ikan-ikan tersebut. Ikan-ikan yang sudah tercemar tersebut dapat dikonsumsi oleh manusia dan akan mengakibatkan gangguan-gangguan kesehatan bagi manusia (Goyer, 1986).

Ikan karang merupakan organisme yang jumlahnya terbanyak dan juga merupakan organisme besar yang mencolok yang dapat ditemui di terumbu karang (Nybakken, 1992). Ikan karang dikelompokkan menjadi tiga kelompok

utama, di antaranya terdapat ikan-ikan target yang dapat dikonsumsi oleh manusia, ikan-ikan indikator yang khas mendiami terumbu karang, dan ikan-ikan major yang dikenal juga sebagai ikan hias. Selain mudah ditemui karena jumlahnya yang berlimpah, ikan karang juga merupakan top predator dalam rantai makanan yang berpotensi terakumulasi logam berat. Untuk itu, dianggap sangat perlu adanya penelitian mengenai logam berat pada spesies ikan karang di kawasan tersebut.

B. Rumusan Masalah

1. Berapakah konsentrasi logam berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Cadmium (Cd), Kromium (Cr), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zinc), Kobalt (Co), dan Perak (Ag) pada spesies ikan karang di Perairan Kepulauan Krakatau ?
2. Apakah konsentrasi logam berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Cadmium (Cd), Kromium (Cr), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zinc), Kobalt (Co), dan Perak (Ag) pada spesies ikan karang di Perairan Kepulauan Krakatau sudah melebihi standar baku mutu logam berat pada ikan?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui konsentrasi logam berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Cadmium (Cd), Kromium (Cr), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zinc), Kobalt (Co), dan Perak (Ag) pada spesies ikan karang di Perairan Kepulauan Krakatau.
2. Mengetahui apakah konsentrasi logam berat Cadmium (Cd), kromium (Cr), Nikel(Ni), Besi (Fe), Mangan (Mn), Perak (Ag), Timbal (Pb), dan Seng (Zn)

pada spesies ikan karang sudah melebihi baku mutu, pada kisaran baku mutu, atau masih di bawah baku mutu.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai konsentrasi logam berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Cadmium (Cd), Kromium (Cr), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zinc), Kobalt (Co), dan Perak (Ag) pada spesies ikan karang dan menjadi bahan pertimbangan mengenai kebijakan pengelolaan kawasan di Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau.

E. Kerangka Pikir

Kepulauan Krakatau merupakan wilayah cagar alam yang berlokasi di Kecamatan Rajabasa Kabupaten Lampung selatan. Kepulauan tersebut terdiri atas Pulau Rakata, Pulau Sertung, Pulau Panjang, dan Pulau Anak Krakatau. Gunung Anak Krakatau merupakan Gunung berapi yang masih aktif memperlihatkan aktivitas vulkanik hingga saat ini. Aktivitas vulkanik tersebut menghasilkan abu vulkanik yang mengandung material kimia berbahaya berupa logam berat. Logam berat merupakan bahan kimia yang sulit terdegradasi apabila masuk kedalam perairan dan dalam konsentrasi tertentu dapat menyebabkan pencemaran. Logam berat tersebut dapat masuk kedalam tubuh biota laut melalui pengambilan secara langsung ke perairan ataupun melalui jaringan makanan. Hal tersebut dapat meningkatkan konsentrasi logam berat pada biota laut yang lebih besar seperti ikan karang sehingga menyebabkan bioakumulasi.

Untuk mengetahui konsentrasi logam berat tersebut, ikan karang yang diambil melalui metode sampling akan dilakukan menggunakan ICP-OES. Kemudian akan dilihat, apakah konsentrasi tersebut sudah melebihi standar baku mutu logam berat pada ikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gunung Berapi

Gunung berapi atau gunung api didefinisikan sebagai suatu sistem saluran fluida panas (batuan dalam wujud cair atau lava) yang memanjang dari kedalaman kurang lebih 10 km di bawah permukaan bumi serta di dalamnya terdapat endapan hasil akumulasi material yang akan dikeluarkan pada saat meletus. Patahan hasil gunung berapi tersebut mengakibatkan keluarnya lava panas, abu vulkanik, dan gas dari dapur magma yang terdapat di bawah permukaan bumi (Wikipedia, 2010). Gunung berapi terdapat dalam beberapa bentuk semasa hidupnya. Gunung berapi yang aktif mungkin akan berubah menjadi separuh aktif, istirahat, sebelum akhirnya menjadi tidak aktif atau mati. Bagaimanapun gunung berapi mampu istirahat dalam kurun waktu 610 tahun sebelum menjadi aktif kembali. Oleh karena itu, sulit untuk menentukan keadaan suatu gunung berapi yang sebenarnya (Wikipedia, 2010).

Letusan gunung berapi merupakan bagian dari aktivitas vulkanik yang dikenal dengan istilah 'erupsi'. Hampir semua kegiatan gunung berapi berkaitan dengan zona kegempaan aktif yang berhubungan dengan batas lempeng. Pada batas lempeng terjadi perubahan tekanan dan suhu yang sangat tinggi, sekitar 1.000 °C

sehingga mampu melelehkan material sekitarnya dan membentuk cairan pijar (magma). Kemudian magma akan mengintrusi batuan atau tanah disekitarnya melalui rekahan-rekahan mendekati permukaan bumi. Cairan magma yang keluar dari dalam bumi atau disebut lava memiliki suhu yang dapat mencapai 700-1.200 °C. Letusan gunung berapi yang membawa batu atau abu dapat menyembur sampai radius 18 km atau lebih, sedangkan lavanya dapat membanjiri sampai radius 90 km (Hartuti, 2009).

B. Pencemaran

Pencemaran dapat diartikan sebagai masuknya pencemar (*contaminants*) ke dalam lingkungan alami yang dapat mengakibatkan perubahan yang merusak lingkungan (*Merriam Webster Dictionary*). Bahan-bahan pencemar tersebut tidak hanya mengganggu kesehatan, tetapi juga dapat mengakibatkan kematian pada manusia dan hewan serta mengganggu pertumbuhan dan perkembangan fauna dan flora lainnya. Pencemaran lingkungan merupakan masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan, atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alami, sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang baik atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (*Undang-undang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 1982*).

Letusan-letusan gunung berapi merupakan salah satu faktor alami yang terjadi di mana-mana dan mengeluarkan partikel-partikel debu yang dapat merusak lingkungan. Indonesia adalah Negara yang kaya dengan gunung-gunung berapi

dimana setiap saat dapat meletus dan mengeluarkan debu yang biasanya mengandung logam-logam berat yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan organisme-organisme lainnya. Letusan gunung berapi juga dapat secara langsung mematikan manusia dan hewan yang terkena dengan lava atau debu panas seperti letusan Gunung Sinabung yang terjadi berkali-kali di tahun 2014 di Sumatera Utara (Sembel, 2015).

C. Logam Berat

Logam berat adalah unsur yang mempunyai nomor atom 22-23 dan 40-55 serta unsur golongan lantanida dan aktinida, dan mempunyai respon biokimia yang khas (spesifik) pada organisme hidup (Connel dan Miller, 1995).

Menurut Sutamihardja (1982), sifat-sifat logam berat secara umum yaitu :

- 1) Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaanya secara alami sulit terurai (dihilangkan).
- 2) Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut
- 3) Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dan air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan massa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen dapat menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

1. Klasifikasi Logam Berat

Logam berat digolongkan menjadi dua jenis yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial adalah logam yang 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, dan Mn sedangkan logam berat non esensial yaitu logam yang keberadaannya dalam tubuh belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, dan Cr. Logam ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagaimana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai pengahalang kerja enzim, selain itu logam berat juga akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen atau karsinogen bagi manusia (Putra, 2006).

Sedangkan menurut Goyer (1986), Logam-logam berat beracun terbagi dalam 4 kelompok sebagai berikut :

1. Logam-logam penting (*major metals*) yang menyebabkan pengaruh ganda (*multiple effect*), seperti Arsenik (As), Berilium (Be), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Nikel (Ni),
2. Logam-logam esensial tetapi berpotensi menyebabkan keracunan, Tembaga (Cu), Mangan (Mn), Molibdenum (Mo), Selenium (Se), Seng (Zinc),
3. Logam-logam beracun yang berhubungan dengan terapi medis seperti Alumunium (Al), Bismuth (Bi), Galium (Ga), Emas (Gold-Au), Litium (Li), Platanium (Pt),

Logam-logam beracun minor (*minor metals*), seperti Antimoni (Sb), Barium (Ba), Indium (In), Mangan (Mn), Perak (Silver-Ag), Telurium (Te), Timah (Tin), Uranium (U), dan Vanadium V.

2. Karakteristik Logam Berat

a. Kadmium (Cd)

Kadmium memiliki nomor atom 49, dengan berat atom 112,41 g/mol, memiliki titik didih dan titik leleh masing-masing 765 °C dan 320,9 °C.

Kadmium disingkat dengan Cd (Cadmium). Pada tabel periodik terdapat pada golongan XIID, periode V (Cotton dan Wilkinson, 1989). Kadmium mempunyai sifat tahan panas sehingga baik untuk campuran-campuran bahan keramik dan plastik, kadmium juga sangat tahan terhadap korosi sehingga cocok untuk melapisi plat besi dan baja (Darmono, 1995).

Kadmium terdapat di alam terutama dalam bijih timbal dan zinc. Kadmium sering digunakan sebagai pigmen pada keramik, penyepuhan listrik, serta pembuatan alloy dan baterai alkali (Baird, 1995 ; Lu, 2006).

Kadar Cd di perairan alami berkisar antara 0.29-0.55 ppb dengan rata-rata 0.42 ppb. Kadmium tergolong logam berat dan memiliki afinitas yang tinggi terhadap grup sulfhidril daripada enzim dan meningkat kelarutannya dalam lemak. Perairan alami yang bersifat basa, kadmium akan mengalami hidrolisis, teradsorpsi oleh padatan tersuspensi dan membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik. Kadmium pada perairan alami membentuk ikatan kompleks dengan ligan baik organik maupun inorganik, yaitu:

Cd^{2+} , $\text{Cd}(\text{OH})^+$, CdCl^+ , CdSO_4 , CdCO_3 dan Cd-organik. Ikatan kompleks tersebut memiliki tingkat kelarutan yang berbeda: $\text{Cd}^{2+} > \text{CdSO}_4 > \text{CdCl}^+ > \text{CdCO}_3 > \text{Cd}(\text{OH})^+$ (Sanusi, 2006).

Bahan organik terlarut dalam perairan (gugus amino), sistein, polisakarida dan asam karbosiklik) memiliki kapasitas membentuk ikatan kompleks dengan Cd dan logam berat lainnya. Demikian pula keberadaan asam humus (*humic substances*) dalam perairan seperti asam fulvik, asam humik akan membentuk ikatan kompleks (kelasi) dengan Cd. Pada umumnya stabilitas ikatan kompleks logam berat-asam humus mengikuti deret Irving – Williams (*Irving-Williams order*) sebagai berikut :



Di perairan tawar kemampuan pembentukan kompleks Cd oleh asam humas sekitar 2,7 % dari pada total Cd terlarut, sementara di perairan estuari lebih rendah dari 1% total Cd terlarut. Jadi, selain ditentukan oleh kadar asam humus dan Cd terlarut, parameter pH dan salinitas berperan dalam membentuk ikatan kompleks logam berat-asam humus. Logam berat Cd terlarut dalam air akan mengalami proses adsorpsi oleh partikel tersuspensi dan mengendap di sedimen. Proses adsorpsi akan diikuti oleh proses desorpsi yang mengembalikan Cd dalam bentuk terlarut dalam badan air (Sanusi, 2006). Kadmium dalam air laut membentuk senyawa klorida (CdCl_2) sedangkan pada perairan tawar kadmium berbentuk karbonat (CdCO_3). Pada perairan payau kedua senyawa tersebut berimbang (Darmono, 1995).

b. Timbal (Pb)

Timbal atau sering disebut juga timah hitam dalam bahasa latin dikenal dengan nama *plumbum*, disingkat dengan Pb. Timbal pada tabel periodik terdapat pada golongan XIV P, periode VI, memiliki nomor atom 82 dengan berat atom 207,20 g/mol (Cotton dan Wilkinson, 1989). Menurut Darmono (1995) dan Fardiaz (2005) timbal memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- 1) Memiliki titik cair terendah;
- 2) Merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk;
- 3) Timbal dapat membentuk alloy dengan logam lainnya, dan alloy yang terbentuk mempunyai sifat yang berbeda dengan timbal murni
- 4) Memiliki densitas yang tinggi dibanding logam lain; kecuali emas dan merkuri, yaitu 11,34 g/cm³;
- 5) Sifat kimia timbal menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai pelindung jika kontak dengan udara lembab.

Timah hitam dalam perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Kelarutan timbal dalam air cukup rendah sehingga kadarnya relatif sedikit. Bahan bakar yang mengandung timbal (lead gasoline) memberikan kontribusi yang berarti bagi keberadaan timbal di perairan. Kadar dan toksisitas timbal di perairan dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen (Effendi, 2003).

Keberadaan ligan baik organik maupun anorganik dalam badan air akan membentuk ikatan kompleks dengan Pb. Ligan anorganik fosfat (PO₄³⁻) dan

sulfida (S^{2-}), jika Pb membentuk senyawa $Pb_3(PO_4)_2$ dan PbS yang bersifat tidak larut. Di perairan dengan $pH > 6,0$ senyawa tersebut akan mengalami proses hidrolisis membentuk $Pb(OH)^+$ terlarut. Senyawa solid $Pb(OH)_2$ hanya terbentuk pada $pH \geq 10,0$. Ikatan kompleks yang bersifat stabil dengan ligan organik, terutama terjadi terhadap ligan organik yang mengandung gugus S, N dan O. Selain itu padatan tersuspensi dalam kolom air akan mengadsorpsi Pb terlarut dalam air membentuk ikatan partikulat Pb. Dalam lingkungan air tawar atau sungai, besarnya adsorpsi mencapai 15-83 % dari total Pb terlarut (Wilson, 1976).

c. **Nikel (Ni)**

Nikel adalah unsur kimia metalik yang termasuk kelompok VIIIB dari tabel periodik. Nikel memiliki kepadatan spesifik 8.90 g/cm³, titik leleh 1555 °C, dan titik didih 2837 °C serta sifatnya tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Bentuk umum adalah ion nikel (II). Nikel karbonat, sulfida nikel, dan nikel oksida tidak larut dalam air, sedangkan nikel klorida dan nikel nitrat yang larut dalam air. Dalam sistem biologi, nikel terlarut dapat membentuk komponen yang kompleks dengan berbagai ligan dan berikatan dengan bahan organik (Environmental Health Criteria 108, 1991).

Pada perairan, nikel ditemukan dalam bentuk koloid akan tetapi garam-garam nikel seperti ammonium sulfat, nikel nitrat, dan klorida bersifat larut dalam air. Pada kondisi aerob dan pH kurang dari 9, nikel membentuk

senyawa kompleks dengan hidroksida, karbonat, dan sulfat, dan selanjutnya mengalami presipitasi. Demikian juga dengan pada keadaan anaerob, nikel bersifat tidak larut (Darmono, 1995).

Berdasarkan uji toksisitas akut pada hewan, diketahui bahwa tingkat toksisitas nikel bervariasi dipengaruhi oleh tingkat kelarutan senyawa nikel. Senyawa larut seperti nikel asetat lebih toksik dibandingkan dengan senyawa nikel yang tidak larut, seperti *nickel powder*. Gerberding J.L (2005) melaporkan bahwa dalam konsentrasi tinggi nikel di tanah berpasir merusak tanaman dan di permukaan air dapat mengurangi tingkat pertumbuhan alga. Selain itu nikel juga dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Ketoksikan nikel pada kehidupan akuatik bergantung pada spesies, pH, kesadahan dan faktor lingkungan lain (Blaylock dan Frank, 1979).

d. Kromium (Cr)

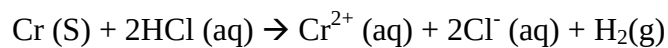
Kromium merupakan salah satu unsur logam transisi golongan VIB yang tahan karat dan berwarna abu-abu. Kromium mempunyai nomor atom 24, massa jenis 7.19 g/cm³. Bersifat paramagnetik (sedikit tertarik oleh magnet), membentuk senyawa-senyawa berwarna, memiliki beberapa bilangan oksidasi, yaitu +2, +3, +6 dan stabil pada bilangan oksidasi +3. Bilangan oksidasi +4 dan +5 jarang ditemukan pada logam ini. Senyawa kromium pada bilangan oksidasi +6 merupakan oksidasi yang kuat (*Environmental Health Criteria* 61, 1988).

Logam kromium (Cr) pertama kali ditemukan oleh *Vauquelin* (1797).

Umumnya logam di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain dan sangat jarang ditemukan dalam bentuk unsur tunggal. Logam kromium (Cr) di alam ditemukan dalam bentuk chromite ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$).

Logam kromium (Cr) larut dalam asam klorida encer atau pekat.

Jika terkena udara, akan berbentuk ion-ion kromium.



Logam kromium tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab dan proses pemanasan. Logam kromium mudah larut dalam HCl, H_2SO_4 , dan asam perklorat. Logam kromium (Cr) mempunyai tingkat oksidasi yang berbeda-beda. Ion kromium yang telah membentuk senyawa mempunyai sifat yang berbeda sesuai dengan tingkat oksidasinya.

Menurut Svehla (1985) dalam larutan air, kromium (Cr) membentuk tiga jenis ion yaitu :

1) Ion kromium atau kromo (Cr^{2+})

Ion kromium (II) memiliki bilangan oksidasi +2, bersifat tidak stabil karena merupakan zat pereduksi yang kuat dan dapat menguraikan air perlahan-lahan dengan membentuk hydrogen. Oksigen di udara akan mengoksidasi Cr^{2+} menjadi ion kromium (III), ion ini membentuk larutan yang berwarna biru. Senyawa yang kuat terbentuk dari ion logam Cr^{2+} bersifat basa.

2) Ion kromium (III) atau kroni (Cr^{3+})

Ion kromium (III) memiliki bilangan oksidasi +3 dan bersifat stabil. Dalam larutan, ion-ion ini berwarna hijau atau lembayung. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{3+} bersifat amfoter.

- 3) Ion kromium (VI) atau kromat (CrO_4^{2-}) dan dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). Ion kromium (VI) memiliki bilangan oksidasi +6. Ion-ion kromat berwarna kuning sedangkan dikromat berwarna jingga. Senyawa yang terbentuk dari ion kromium (VI) bersifat asam. Ion-ion kromat dan dikromat merupakan zat pengoksidasi yang kuat sedangkan jika diasamkan, akan membentuk ion-ion dikromat. Kromium secara alami merupakan unsur esensial yang dibutuhkan oleh tubuh dan terdapat dalam hewan, tumbuhan maupun tanah, kromium dapat berbentuk cairan. Padatan maupun gas dan terdapat dalam 3 jenis valensi. Kromium (III) merupakan unsur esensial yang dibutuhkan oleh tubuh dalam reaksi enzimatik untuk memetabolisme gula, protein dan lemak. Kromium (III) memiliki toksisitas yang rendah dibandingkan dengan kromium (VI). Pada bahan makanan dan tumbuhan mobilitas kromium relatif rendah dan diperkirakan konsumsi harian kromium pada manusia dibawah 100 μg , berasal dari makanan, sedangkan dari air dan udara dalam tingkat yang rendah. Kromium (VI) lebih mudah diserap oleh tubuh dibandingkan dengan kromium (III). Namun, setelah di dalam tubuh kromium (VI) segera mengalami reduksi menjadi kromium (III) (ATSDR, 2008).

e. Mangan (Mn)

Mangan adalah logam berwarna putih keabu-abuan. Mangan termasuk logam berat dan sangat rapuh tetapi mudah teroksidasi. Logam dan ion mangan bersifat paramagnetik. Hal ini dapat dilihat dari orbital d yang terisi penuh pada konfigurasi elektron. Mangan ditemukan di alam dalam bentuk *pyrolusite* (MnO_2), *brownite* (Mn_2O_3), *hausmannite* (Mn_2O_4), *manganite* ($\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), *psilomelane* [$(\text{BaH}_2\text{O}) \cdot \text{Mn}_5\text{O}_{10}$] dan *rhodochrosite* (MnCO_3).

Pencemaran logam mangan berasal dari bahan zat aktif di dalam batu baterai yang telah habis digunakan dan dibuang ke sungai maupun pesisir (Palar, 1994). Selain itu sumber pencemaran logam mangan juga berasal dari pertambangan, saluran tambang atom. Kerja mikroba terhadap mineral mangan pada pE rendah (Manahan, 1994).

f. Kobalt (Co)

Logam kobalt merupakan unsur kimia yang memiliki lambang Co dan nomor atom 27. Ketersediaan unsur kimia kobalt terdapat dalam banyak formulasi seperti kertas perak dan kawat. Keberadaan unsur kobalt di alam terdapat dalam bentuk senyawa seperti mineral kobalt glans (CoAsS), Linait (Co_3S_4), Smaltit (CoAs_2), dan eritrit. Logam kobalt banyak didapati berikatan dengan nikel, perak, timbal, tembaga, dan biji besi, dimana didapatkan dari hasil samping produksi. Logam kobalt juga dapat dijumpai pada meteorit. Logam kobalt banyak digunakan dalam industri sebagai bahan campuran pada pembuatan mesin pesawat, magnet, alat pemotong

atau penggiling, pewarna kaca, keramik dan cat. Logam kobalt termasuk kedalam logam transisi yang terdapat pada golongan VIII B. Logam kobalt yang memiliki bilangan oksidasi +2 dan +3 mudah larut kedalam asam-asam mineral encer, tetapi pada bilangan oksidasi +2 logam kobalt didapatkan relatif stabil (Cotton dan Wilkinson, 1988).

Beberapa oksida logam golongan ini yang dikenal yaitu kobalt (III) –CoO, campuran kobalt (II) dan Co (III) –Co₃O₄. Logam CoO berupa serbuk hijau dapat diperoleh melalui pemanasan logam dan udara, dengan uap air, pemanasan, hidroksida karbonat atau nitrat dalam kondisi tanpa udara (Sugiarto *et al.*, 2010).

Kobalt termasuk kedalam unsur renik yang dibutuhkan dalam pertumbuhan dan reproduksi pada tumbuhan dan hewan. Bersama dengan ion logam lainnya (misalnya tembaga, seng, besi dan magnesium) kobalt dibutuhkan oleh enzim sebagai koenzim yang berfungsi untuk mengikat molekul substrat (Effendi, 2003). Akan tetapi ion logam ini dapat menggantikan ion logam tertentu yang berfungsi sebagai kofaktor dari suatu enzim, sehingga dapat menurunkan fungsi enzim tersebut bagi tubuh (Darmono, 2001).

g. Seng (Zn)

Seng tidak ditemukan pada lingkungan alami dalam bentuk logam, melainkan dalam bentuk ion divalent Zn (II). Seng merupakan elemen transisi dan dapat membentuk kompleks dengan beragam ligan organik.

Senyawa organik etalik seng tidak terdapat pada lingkungan (Simon-Hettich *et al.*, 2001).

Konsentrasi seng di air tawar secara signifikan dipengaruhi oleh geologis lokal dan input antropogenik. Sebagai hasil pelapukan kimiawi, senyawa seng yang dapat larut, seperti seng sulfat dapat ditransfer ke air permukaan khususnya pada pH rendah. Aliran permukaan perkotaan, drainase pertambangan, dan efluen industri juga menyumbangkan seng bagi air permukaan (Simon-Hettich *et al.*, 2001).

Konsentrasi seng rata-rata di air laut adalah 0,6-5 ppb. Sungai umumnya mengandung 5 sampai 10 ppb seng. Alga mengandung 20-700 ppm, ikan laut dan kerang mengandung 3-25 ppm, *oysters* mengandung 100-900 ppm dan lobster mengandung 7-50 ppm (Lenntech, 2007).

Kelarutan seng tergantung pada temperatur dan pH air serta anionnya (Simon-Hettich *et al.*, 2001; Lenntech, 2007). Jika pH air mendekati netral, seng tidak larut dalam air. Kelarutan meningkat dengan kenaikan asiditas. Pada kondisi pH diatas 11, kelarutan juga meningkat. Seng larut dalam air sebagai ZnOH^+ (aq) atau Zn^{2+} (aq). Bentuk non ionik seng ZnCO_3 memiliki kelarutan sekitar 0,21 g/L. kelarutan beberapa persenyawaan seng, yaitu zinc chloride (ZnCl_2) 4320 g/L, dan zinc oxide (ZnO) atau zinc vitriol ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 580 g/L (Lenntech, 2007).

Seng merupakan elemen esensial pada level in vivo (pada organisme hidup), oleh karena itu pada sebagian besar organisme seng mengalami regulasi.

Absorpsi seng oleh hewan akuatik cenderung berasal dari air daripada makanan. Hanya seng terlarut yang cenderung menjadi *bioavailable*, dan bioavailabilitasnya dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimia lingkungan serta proses biologi (Simon-Hettich *et al.*, 2001).

Seng penting dalam proses mempertahankan stabilitas membran oleh lebih dari 300 macam enzim dan dalam metabolisme protein dan asam nukleat. Toksisitas seng dapat dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik, seperti ukuran dan umur organisme, pemaparan, kesadahan air, pH, karbon organik terlarut dan temperatur. Toksisitas akut dari seng terlarut terhadap invertebrata air tawar berkisar antara 0,07 mg/L (pada kutu air) dan 575 mg/L (pada udang). Konsentrasi letal akut untuk ikan air tawar berkisar antara 0,066-2,6 mg/L. Seng diketahui dapat mempengaruhi reproduksi, proses biokimia, fisiologi, dan tingkah laku pada sejumlah organisme akuatik. Konsentrasi seng lebih dari 20 µg/L memberikan efek merugikan bagi organisme akuatik (Simon-Hettich *et al.*, 2001).

h. Besi (Fe)

Besi merupakan salah satu unsur logam transisi golongan VIIIB yang mudah ditempa, mudah dibentuk, berwarna putih perak, memiliki nomor atom 26 dan mudah dimagnetisasi pada suhu normal. Logam besi terdapat dalam tiga bentuk, yaitu α -iron (alpha-iron), γ -iron (gamma-iron), dan δ -iron (delta-iron). Perbedaan yang dimiliki dari setiap bentuk tersebut adalah dari susunan atom-atom pada sisi kristal. Di alam, besi terdapat dalam bentuk senyawa-senyawa antara lain sebagai hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4),

pirit (FeS_2), dan diderit (FeCO_3). Besi murni diperoleh dari proses elektroforesis dari larutan besi sulfat (Sunardi, 2006).

Air laut mengandung besi sekitar 1-3 ppb. Jumlahnya sangat bervariasi, dan berbeda di Atlantik dan Samudera Pasifik. Kebanyakan alga mengandung besi antara 20 dan 200 ppm besi. Beberapa alga coklat dapat terakumulasi sampai 4000 ppm besi. Faktor biokonsentrasi alga pada air laut sekitar 104-105 ppm. Ikan laut mengandung sekitar 10-90 ppm dan jaringan tiram mengandung sekitar 195 ppm zat besi dalam massa kering. (www.lenntech.com).

Besi terlarut terutama hadir dalam bentuk $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ (aq) dibawah kondisi asam dan netral serta kaya akan oksigen. Dibawah kondisi miskin oksigen, besi terdapat sebagai besi binner. Besi adalah bagian dari banyak kompleks *chelation* organik dan organik yang umumnya larut dalam air laut (www.lennetch.com).

Pada air asin, suspensi oksida-oksida besi dengan cepat terendapkan pada salinitas 10 ppt atau lebih. Sebagian besar zat besi hadir dalam bentuk partikel dan secara efektif dikeluarkan dari larutan. Di perairan laut anoksik, besi-besi dimobilisasi dari sedimen dan berdifusi ke kolom air (www.ukmarinesac.org).

Organisme laut mengakumulasi besi tetapi juga dengan cepat mengeluarkan besi dalam kondisi air bersih. Biasanya, konsentrasi besi pada jaringan berhubungan dengan konsentrasi pada air dan sedimen, namun ada

variabilitas yang cukup besar. Konsentrasi jaringan bervariasi secara musiman, semakin rendah di musim dingin dan musim semi daripada di musim panas dan musim gugur dan selanjutnya konsentrasi jaringan kerang meningkat dengan meningkatnya salinitas (www.ukmarinesac.org).

i. Perak (Ag)

Perak murni merupakan golongan logam yang memiliki warna putih terang. Unsur perak murni lebih keras dibanding emas dan sangat lunak serta mudah dibentuk. Perak murni memiliki konduktivitas kalor dan listrik yang sangat tinggi diantara semua logam namun memiliki resistensi kontak yang sangat kecil. Dalam hampir semua persenyawaan perak sederhana (non kompleks), logam ini mempunyai nilai oksidasi +1 dan ion Ag^+ adalah satu-satunya ion perak yang stabil dalam air. Senyawa yang penting yaitu nitrat, satu-satunya garam perak yang sangat mudah larut dalam air dan tak berwarna (Sugiarto, 2003).

Air laut mengandung sekitar 2-100 ppt perak, dan konsentrasi di permukaan mungkin lebih rendah. Air sungai umumnya mengandung sekitar 0,3-1 ppb perak. Konsentrasi perak pada fitoplankton adalah 0,1-1 ppm (massa kering). Faktor biokonsentrasi menyebabkan konsentrasi sekitar 104-105 pada air laut. Pada konsentrasi jaringan tiram ditemukan sekitar 890 ppm (massa kering). Perak terlarut dalam air terutama dalam bentuk Ag^+ (aq), dan di air laut sebagai AgCl^{2-} (aq).

Dalam jumlah yang lebih besar, beberapa senyawa perak mungkin beracun, karena ion perak memiliki afinitas tinggi untuk gugus sulfur hidril dan amino

belerang, dan karena itu kompleksasi dengan asam amino, asam nukleat dan senyawa lainnya terjadi di dalam tubuh (www.lenntech.com).

D. Toksisitas Logam Berat

Karakteristik fisik dan kimia suatu jenis bahan pencemar atau limbah menentukan sifat toksik dan persistensinya (mudah atau sulit terurai) dalam perairan laut. Lingkungan atau ekosistem laut yang mengalami gangguan kesetimbangan akibat polutan, dapat bersifat tetap (*irreversible*) atau sementara (*reversible*) bergantung pada faktor-faktor berikut (Sanusi, 2006):

- 1) Kemantapan ekosistem (*constancy*); terkait dengan besar kecilnya pengaruh perubahan;
- 2) Persistensi ekosistem (*persistent*); terkait dengan lamanya waktu untuk kelangsungan proses-proses normal ekosistem;
- 3) Kelembaman ekosistem (*inertia*); terkait dengan kemampuan bertahan terhadap gangguan eksternal;
- 4) Elastisitas ekosistem (*elasticity*); terkait dengan kekayaan/kemampuan ekosistem untuk kembali ke keadaan semula setelah besarnya skala gangguan;
- 5) Amplitudo ekosistem (*amplitude*); terkait dengan besarnya skala gangguan dimana daya pulih (*recover*) masih memungkinkan.

Semua logam berat dapat menimbulkan pengaruh yang negatif terhadap organisme perairan pada batas dan kadar tertentu. Hal ini dipengaruhi oleh jenis logam, pengaruh interaksi antar logam dan jenis racun lainnya, spesies

hewan, daya permeabilitas organisme, dan mekanisme detoksikasi serta pengaruh lingkungan seperti suhu, pH, dan oksigen (Bryan, 1984).

Menurut Hutagalung (1984), selain suhu dan pH, salinitas dan kesadahan juga mempengaruhi toksisitas logam berat. Penurunan pH dan salinitas perairan menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar. Lain halnya dengan suhu, toksisitas logam berat semakin tinggi dengan meningkatnya suhu. Kesadahan yang tinggi dapat mengurangi toksisitas logam berat, karena logam berat dalam air dengan kesadahan yang tinggi dapat membentuk senyawa kompleks yang mengendap dalam air. Logam berat di lingkungan perairan dapat diketahui melalui media air, sedimen, maupun organisme hidup.

Tabel 1. Penggolongan Ion-ion Logam Berdasarkan Toksisitas

Kelas A	Kelas Antara	Kelas B
Ca^{2+}	Cr^{2+}	Hg^{2+}
Mg^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}
Ba^{2+}	As^{2+}	Cu^{+}
Be^{2+}	Mn^{2+}	Ti^{2+}
Al^{2+}	Cd^{2+}	Ag^{2+}

E. *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)*

ICP-OES merupakan perangkat canggih untuk penentuan logam dalam berbagai matriks sampel yang berbeda. ICP dikembangkan untuk untuk spektrometri emisi optik oleh Fassel *et al.* di *Iowa State University*, Amerika Serikat dan oleh Greenfield *et al.* di Albright & Wilson, Ltd, Inggris pada pertengahan 1960-an. Instrumen ICP-OES yang tersedia secara komersial pertama kali diperkenalkan pada tahun 1974 (Hou dan Jones, 2000).

1. Prinsip Kerja

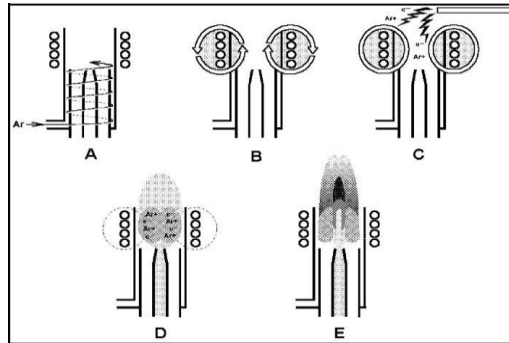
Teknik ini didasarkan pada emisi spontan foton dari atom dan ion yang telah tereksitasi dalam *radio frequency (RF) discharge*. Sampel cair dan gas diinjeksikan langsung ke instrument, sedangkan sampel padat akan diekstraksi atau digesti asam terlebih dahulu sehingga akan didapatkan hasil analit berupa larutan. Larutan sampel akan diubah menjadi aerosol dan diarahkan ke saluran pusat plasma. Suhu pada bagian *intih inductively coupled plasma (ICP)* yaitu sekitar 10.000 °K, sehingga aerosol akan cepat diuapkan. Unsur analit dibebaskan sebagai atom-atom bebas dalam bentuk gas. Eksitasi tumbukan lebih lanjut dalam plasma menghasilkan energi tambahan untuk atom sehingga mempromosikannya ke keadaan tereksitasi. Energi yang cukup akan mengubah atom menjadi ion dan selanjutnya mempromosikan ion ke keadaan tereksitasi. Kedua jenis keadaan tereksitasi dari atom dan ion kemudian dapat kembali ke keadaan dasar melalui emisi foton. Foton ini memiliki energi khas yang ditentukan oleh struktur tingkat energi terkuantisasi untuk atom atau ion. Dengan demikian panjang gelombang dari foton dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur asalnya. Total jumlah foton berbanding lurus dengan konsentrasi unsur dalam sampel (Hou dan Jones, 2000).

Pada ICP-OES, gas argon diarahkan melalui *torch* yang terdiri atas tiga tabung konsentris yang terbuat dari kuarsa atau beberapa bahan lain yang sesuai. Sebuah *load coil* atau kumparan tembaga, mengelilingi ujung atas *torch* dan terhubung ke generator frekuensi radio (*radio frequency, RF*).

Bila daya RF diterapkan pada *load coil*, arus bolak balik bergerak di dalam kumparan atau berosilasi, pada tingkat yang sesuai dengan frekuensi generator. Osilasi RF dari arus dalam kumparan ini menyebabkan terbentuknya medan listrik dan medan magnet RF dibagian atas *torch*. Dengan gas argon yang berputar melalui torch, bunga api yang diterapkan pada gas menyebabkan beberapa elektron akan terlepas dari atom argonnya. Kemudian elektron akan terperangkap dan diakselerasi dalam medan magnet. Energi yang ditambahkan menggunakan kumparan pada elektron dikenal sebagai *Inductive coupling*. Elektron berenergi tinggi ini selanjutnya bertumbukan dengan atom argon lainnya, menyebabkan lepasnya lebih banyak elektron. Ionisasi tumbukan gas argon ini berlanjut dalam reaksi berantai, mengubah gas menjadi plasma yang terdiri atas atom argon, elektron, dan ion argon, membentuk apa yang dikenal sebagai *Inductively coupled plasma (ICP) discharger*. *ICP discharger* kemudian dipertahankan dalam *torch* dan *load coil* selama energi RF masih terus ditransfer melalui proses *inductivecoupling* (Boss dan Fredeen, 1997).

Terdapat beberapa fungsi *ICP discharge* (selanjutnya disebut sebagai ICP atau "plasma"). Fungsi pertama dari plasma suhu tinggi adalah menghilangkan pelarut dari aerosol atau desolvasi, biasanya menyisakan sampel sebagai partikel garam mikroskopis. Langkah selanjutnya melibatkan dekomposisi partikel garam menjadi gas molekul individu (penguapan) yang kemudian terdesolvasi menjadi atom (atomisasi). Setelah sampel aerosol terdesolvasi, teruapkan dan teratomisasi, plasma memiliki satu, atau mungkin dua fungsi yang tersisa yaitu eksitasi dan ionisasi. Agar

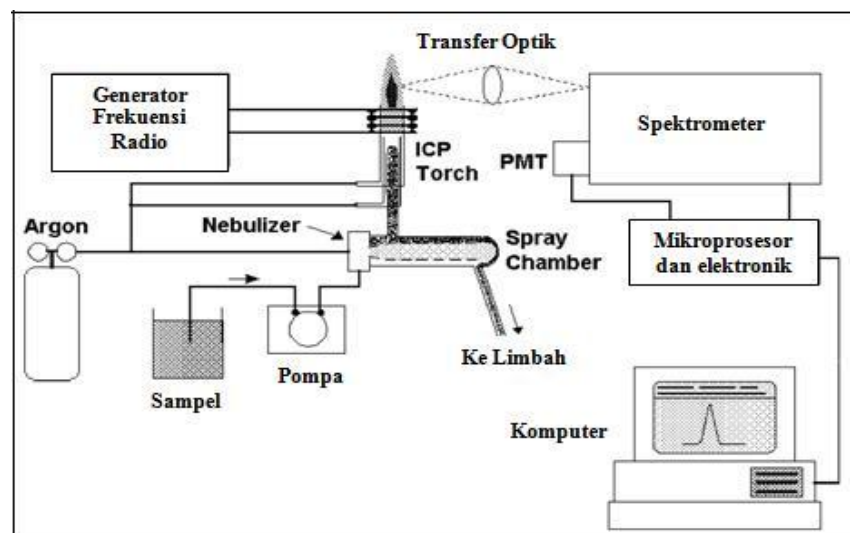
atom atau ion dapat memancarkan radiasi khasnya, salah satu elektronnya harus dipromosikan ke tingkat energi yang lebih tinggi melalui proses eksitasi (Boss dan Fredeen, 1997).



Keterangan :

- A : Gas argon berputar melalui *torch*.
- B : Daya RF diterapkan pada *load coil*.
- C : Sebuah percikan bunga api menghasilkan beberapa elektron bebas dalam argon tersebut
- D : Elektron bebas diakselerasi oleh medan RF menyebabkan ionisasi lebih lanjut dan membentuk plasma.
- E : Aliran *nebulizer* pembawa aerosol sampel menghasilkan lubang dalam plasma.

Gambar 1. (a) Penampang Sebuah *Torch* dan *Load Coil* ICP-OES yang Menggambarkan Urutan Penyalaan.



Gambar 1. (b) Komponen Utama dan Susunan Instrumen ICP-OES.
[Sumber : Boss dan Fredeen, 1997]

2. Analisis Kualitatif dan Kuantitatif dengan ICP-OES

Untuk mendapatkan informasi kuantitatif, yaitu unsur apa yang terdapat dalam sampel, melibatkan identifikasi adanya emisi pada panjang gelombang khas dari unsur yang diperiksa untuk memastikan bahwa emisi yang diamati memang benar unsur yang dituju. Secara umum, setidaknya ada tiga garis spektrum dari unsur yang diperiksa untuk memastikan bahwa emisi yang diamati memang benar merupakan milik unsur yang dituju. Terkadang gangguan garis spektral dari unsur lain mungkin membuat suatu ketidakpastian tentang adanya unsur dalam plasma. Untungnya, dari sejumlah besar garis emisi yang tersedia untuk sebagian besar unsur memperbolehkan satu garis emisi yang dapat mengatasi gangguan tersebut dengan cara memilih diantara beberapa garis emisi yang berbeda untuk unsur yang dituju (Boss dan Fredeen, 1997).

Untuk mendapatkan informasi kuantitatif, yaitu seberapa banyak suatu unsur yang terdapat dalam sampel dapat dicapai dengan menggunakan plot intensitas emisi terhadap konsentrasi yang disebut kurva kalibrasi. Larutan dengan konsentrasi analit yang diketahui disebut larutan standar. Kemudian larutan tersebut dimasukkan ke dalam ICP dan intensitas emisi khas untuk setiap unsur, atau analit yang diukur. Intensitas ini kemudian dapat diplot terhadap konsentrasi standar untuk membentuk kurva kalibrasi bagi setiap unsur. Ketika intensitas emisi dari analit diukur, intensitas diperiksa terhadap kurva kalibrasi unsur tersebut untuk menentukan konsentrasi sesuai dengan intensitasnya (Boss dan Fredeen, 1997).

3. Kelebihan dan Kekurangan

Dibandingkan dengan teknik lain, ICP-OES memiliki suhu atomisasi yang lebih tinggi, lingkungan yang lebih inert, dan kemampuan alami untuk penentuan hingga 70 elemen secara bersamaan. Hal ini membuat ICP lebih tahan terhadap gangguan matriks, dan lebih mampu untuk mengoreksinya ketika terjadi gangguan matriks. ICP-OES menyediakan batas deteksi serendah, atau lebih rendah dari pesaing terbaiknya, GFAAS. Selain itu, ICP tidak menggunakan elektroda, sehingga tidak ada kontaminasi dari pengotor yang berasal dari bahan elektroda. ICP juga relatif lebih mudah dalam perakitannya dan murah, dibandingkan dengan beberapa sumber lain, seperti LIP (laser-induced plasma). Berikut ini adalah beberapa sifat yang paling menguntungkan dari sumber ICP (Hou dan Bradley, 2000) :

- a) Suhu tinggi (7.000-8.000 K).
- b) Kepadatan elektron tinggi ($1.014 - 1.016 \text{ cm}^3$).
- c) Derajat ionisasi yang cukup besar untuk banyak unsur.
- d) Kemampuan analisa multiunsur secara bersamaan (lebih dari 70 unsur termasuk P dan S).
- e) Emisi *background* (latar belakang) rendah, dan gangguan kimia yang relatif rendah.
- f) Stabilitas tinggi yang menyebabkan akurasi dan presisi yang sangat baik.
- g) Batas deteksi yang sangat baik untuk sebagian besar unsur (0,1-100 ng/mL).
- h) *Linear dynamic range* (LDR) yang lebar (4-6 kali lipat).
- i) Dapat diterapkan untuk unsur-unsur refraktori.

j) Analisis dengan biaya efektif.

Tabel 2. Kelebihan dan Kekurangan Teknik-Teknik Analisis Unsur

Teknik	Kelebihan	Kekurangan
AAS (<i>Atomic Absorption Spectrometry</i>)	Batas deteksi rendah	Beberapa unsur, membutuhkan waktu lama, efek matriks
NAA (<i>Neutron Activation Analysis</i>)	Batas deteksi rendah	Beberapa unsur, membutuhkan reaktor
SSMS (<i>Spark Source Mass Spectrometry</i>)	Batas deteksi rendah, banyak unsur	Kuantifikasi sulit, sensitif-permukaan
WDXRF (<i>Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence</i>)	Banyak unsur, sampel padat dan cair	Batas deteksi terlalu tinggi
ICP-MS (<i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i>)	Batas deteksi rendah, banyak unsur, analisis isotope	Efek matriks
ICP-OES (<i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry</i>)	Batas deteksi rendah, banyak unsur, interferensi spektral terbatas, stabilitas baik, efek matriks rendah	Hanya sampel cair

[Sumber : NRC, 2004]

F. Ikan Karang

Ikan karang adalah ikan yang hidup dari masa juvenil hingga dewasa di terumbu karang. Nybakken (1992) menyatakan bahwa ikan karang merupakan organisme yang jumlahnya terbanyak dan juga merupakan organisme besar yang mencolok yang dapat ditemui di terumbu karang. Menurut Hutomo (1986), keragaman komposisi taksa komunitas ikan karang dari suatu terumbu karang ke

terumbu karang lainnya sangat besar, tetapi komunitas ikan karang mempunyai kesamaan bentuk sehingga memungkinkan hasil suatu penelitian mempunyai tingkat generalisasi yang luas bagi sistem sirkum tropis.

Dalam ekosistem terumbu karang komunitas ikan karang dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu ikan yang kadang-kadang terdapat pada terumbu karang dan ikan yang tergantung pada terumbu karang sebagai tempat mencari makan, tempat hidup atau kedua-keduanya (Sopandi, 2000).

Ikan karang bereproduksi secara generatif melalui proses pemijahan untuk mempertahankan kelestariannya. Berdasarkan kebiasaannya, dalam ekosistem terumbu karang terdapat empat kelompok ikan karang yang melakukan pemijahan, yaitu :

1. Kelompok ikan pemijah yang bermigrasi (*migratory spawners*), contohnya: *Serranidae*, *Scaridae*, dan *Labridae*.
2. Kelompok ikan yang tinggal dan memijah berpasangan (*pairspawners*), contohnya: *Chaetodontidae*, *Pomacanthidae*, *Scorpaenidae*.
3. Kelompok ikan yang membuat sarang untuk menjaga telurnya (*nest builders*), contohnya: *Pomacentridae*, *balistidae*, *Gobiidae*.
4. Kelompok ikan yang melindungi telur-telurnya di dalam mulut (*brooders*), contohnya: *Apogonidae*.

Ikan karang diklasifikasikan ke dalam 6 kelompok berdasarkan makanannya, yaitu: kelompok ikan pemakan segala (*omnivores*), kelompok ikan pemakan detritus (*detritivores*), kelompok ikan pemakan tumbuhan (*herbivores*), kelompok ikan pemakan zooplankton (*zooplanktivores*), kelompok ikan

pemakan moluska (*molluscivores*) dan kelompok ikan karnivora (*carnivores*) (Wootton, 1992).

1. Pengelompokan Ikan Karang

English *et al.*, (1997) mengelompokkan jenis ikan karang ke dalam tiga kelompok utama, yaitu :

- a) Ikan-ikan target, yaitu ikan ekonomis penting dan biasa ditangkap untuk dikonsumsi. Biasanya kelompok ikan-ikan target menjadikan terumbu karang sebagai tempat pemijahan dan sarang/daerah asuhan. Ikan-ikan target diwakili oleh family *Serranidae* (ikan kerapu), *Lutjanidae* (ikan kakap), *Lethrinidae* (ikan lencam), *Nemipteridae* (ikan kurisi), *Caesionidae* (ikan ekor kuning), *Siganidae* (ikan baronang), *Haemulidae* (ikan bibir tebal), *Scaridae* (ikan kakak tua) dan *Acanthuridae* (ikan pakol);
- b) Ikan-ikan indikator, yaitu jenis ikan karang yang khas mendiami daerah terumbu karang dan menjadi indikator kesuburan ekosistem daerah tersebut. Ikan-ikan indikator diwakili oleh famili *Chaetodontidae* (ikan kepe-kepe);
- c) Ikan-ikan major, merupakan jenis ikan berukuran kecil, umumnya 5 sampai 25 cm, dengan karakteristik pewarnaan yang beragam sehingga dikenal sebagai ikan hias. Kelompok ikan-ikan major umumnya ditemukan melimpah, baik dalam jumlah individu maupun jenisnya, serta cenderung bersifat teritorial. Kelompok ikan-ikan major sepanjang hidupnya berada di terumbu karang, diwakili oleh famili *Pomacentridae*

(ikan betook laut), *Apogonidae* (ikan serinding), *Labridae* (ikan sapu-sapu) dan *Blenniidae* (ikan peniru)

Lowe dan McConnell (1987) mengelompokkan komunitas ikan karang ke dalam dua kelompok yaitu :

1. Kelompok ikan yang terkadang terdapat pada terumbu karang seperti ikan dari family *Scombridae* dan *Myctophidae*
2. Kelompok ikan yang tergantung pada terumbu karang sebagai tempat mencari makan, tempat hidup atau kedua-duanya.

Berdasarkan penyebaran hariannya, ikan-ikan karang dapat dibagi dua kelompok yaitu ikan yang aktif pada siang hari (diurnal) dan ikan yang aktif pada malam hari (nokturnal). Menurut Lowe dan McConel (1987) sebagian besar ikan karang bersifat diurnal serta ikan yang bersifat nokturnal biasanya merupakan ikan karnivora. Randall *et al.* (1990) menyatakan bahwa ikan-ikan diurnal umumnya bersembunyi di celah-celah batu atau gua-gua kecil dekat permukaan karang serta ada yang membenamkan diri dalam pasir. Beberapa deskripsi famili ikan karang (Randall *et al.*, 1990) adalah :

1. *Acanthuridae*: dikenal sebagai *surgeonfish*, memakan alga dasar dan memiliki saluran pencernaan yang panjang; makanan utamanya adalah *zooplankton* atau detritus. *Surgeonfish* mampu memotong ikan-ikan lain dengan duru tajam yang berada pada sirip ekornya.
2. *Balistidae*: golongan *triggerfish*, karnivora yang hidup soliter pada siang hari, memakan berbagai jenis invertebrata termasuk moluska yang

bercangkang keras dan *echinodermata*; beberapa jenis juga memakan alga atau *zooplankton*.

3. *Blennidae*: biasanya hidup pada lubang-lubang kecil di terumbu, sebagian besar species penggali dasar yang memakan campuran alga dan invertebrata; sebagian pemakan plankton dan sebagian spesialis makan pada kulit atau sirip dari ikan-ikan besar, dengan meniru sebagai pembersih.
4. *Caesonidae*: dikenal sebagai ekor kuning, pada siang hari sering ditemukan pada gerombolan yang sedang makan *zooplankton* pada pertengahan perairan di atas terumbu, sepanjang hamparan tubir dan puncak dalam gobah. Meskipun merupakan perenang aktif, mereka sering diam untuk menangkap *zooplankton* dan biasanya berlindung di terumbu karang pada malam hari.
5. *Centriscidae*: berenang dalam posisi tegak lurus dengan moncong kebawah; memakan *zooplankton* yang kecil.
6. *Chaetodontidae*: disebut juga ikan *butterfly*, umumnya memiliki warna yang cemerlang, memakan tentakel atau polip karang, invertebrata kecil, telur-telur ikan lainnya, dan alga berfilamen, beberapa spesies juga plankton.
7. *Ephippidae*: bentuk tubuh yang pipih, gepeng, mulutnya kecil, umumnya omnivora, memakan alga dan invertebrata kecil.
8. *Gobiidae*: umumnya terdapat di perairan dangkal dan disekitar terumbu karang. Kebanyakan karnivora penggali dasar yang memakan invertebrata dasar yang kecil, sebagian juga merupakan pemakan

plankton. Beberapa spesies memiliki hubungan simbiosis dengan invertebrata lain (misalnya : udang) dan sebagian dikenal memindahkan *ectoparasit* dari ikan-ikan lain.

9. *Labridae*: dikenal dengan *wrasses*, merupakan ikan ekonomis penting, memiliki bentuk, ukuran dan warna yang sangat berbeda. Kebanyakan spesies penggali pasir, karnivora bagi invertebrata dasar; sebagian juga merupakan pemakan plankton dan beberapa spesies kecil memindahkan *ectoparasit* dari ikan-ikan lain yang lebih besar.
10. *Mullidae*: dikenal dengan *goatfish*, memiliki sepasang sungut di dagunya, yang mengandung organ sensor kimia dan digunakan untuk memeriksa keberadaan invertebrata dasar atau ikan-ikan kecil pada pasir atau lubang di terumbu, banyak yang memiliki warna yang cemerlang.
11. *Nemipteridae*: dikenal sebagai *threadfinbrems* atau *whiptailbrems*, ikan karnivora yang umumnya memakan ikan dasar kecil, sotong-sotong, udang-udangan atau cacing; beberapa spesies adalah pemakan plankton.
12. *Pomacentridae*: dikenal dengan *damselishes*, memiliki bermacam warna yang berbeda secara individu dan lokal bagi spesies yang sama. Beberapa spesies merupakan ikan herbivore, omnivora atau pemakan plankton. *Damselish* meletakkan telur-telurnya di dasar yang dijaga oleh ikan-ikan jantan. Termasuk didalam kelompok ini ikan-ikan anemon (*Amphiprioninae*) yang hidup berasosiasi dengan anemon laut.

13. *Scaridae*: dikenal sebagai *parrotfish*, herbivora, biasanya mendapatkan alga dari substrat karang yang mati. Mengnyah batu karang beserta alga serta membentuk pasir karang, hal ini membuat *parrotfish* menjadi salah satu produsen pasir yang penting dalam ekosistem terumbu karang. *Scaridae* merupakan ikan ekonomis penting.
14. *Serranidae*: dikenal dengan *seabass*, kerapu, predator penggali dasar, ikan komersial, memakan udang-udangan dan ikan. Subfamilinya adalah *Anthiinae*, *Epinephelinae* dan *Serranidae*.
15. *Sygnathidae*: dikenal sebagai kuda laut atau *pipefish*. Beberapa memiliki warna yang indah. Umumnya terbatas di perairan dangkal. Memakan invertebrata dengan menghisap pada moncong pipanya. Jantannya memiliki kantong enam sebagai tempat penyimpanan telur dan diinkubasikan.
16. *Zanclidae*: memiliki bentuk seperti *Acanthuridae* dengan mulut yang tabular tanpa duri di bagian ekor. Memakan spons juga invertebrata dasar.

Menurut Sale (1991), kelompok ikan karang yang berasosiasi paling erat dengan lingkungan terumbu karang menjadi tiga golongan utama yaitu :

- a) *Labroid*: Labridae (*wrasses*), Scaridae (*parrotfish*) dan Pomacentridae (*damsel-fishes*)
- b) *Acanthuroid*: Acanthuridae (*surgeonfishes*), siganidae (*rabbitfishes*), dan Zanclidae (*Moorishidols*)
- c) *Chaetodontidae*: Chaetodontidae (*butterflyfishes*) dan Pomachantidae (*anglefishes*).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan mulai bulan April 2017 sampai Januari 2018. Titik pengambilan sampel berlokasi di perairan Pulau Anak Krakatau, Pulau Panjang, dan Pulau Rakata. Sementara untuk analisis sampel dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung.

B. Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian yaitu, kapal kecil dan perahu kapal, GPS (*Global Positioning System*), alat selam, kantong sampel, botol air mineral, Asam Nitrat (HNO_3) 76% , Akuabides, plastik, *speargun* (tembakan pegas), *Inductively Coupled Plasma* (ICP-OES), pH meter, *thermometer*, *Refractometer*., *Sechi disk*, dan *cool box*.

C. Prosedur Kerja

1. Tahapan Penelitian

a. Tahap Persiapan

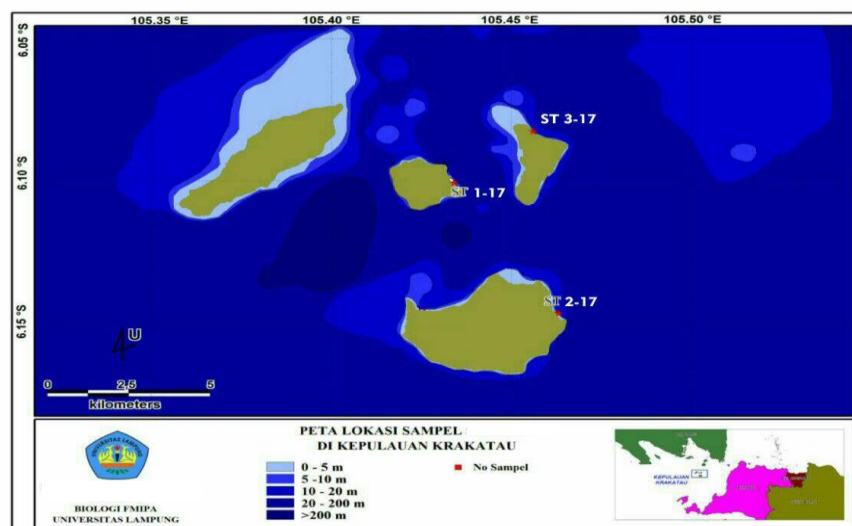
Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi studi literatur dan konsultasi dengan pembimbing mengenai arahan dari penelitian ini.

b. Tahap Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel

Penentuan lokasi setiap titik pengambilan sampel di tiga titik dilakukan dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Titik pengambilan sampel di lokasi penelitian sebagai berikut :

Tabel 3. Lokasi Pegambilan Sampel di Perairan Kepulauan Krakatau

Titik	Lokasi	Lintang Selatan	Bujur Timur
1	Pulau Anak Krakatau	06°06'02.1"	105°26'02.4"
2	Pulau Panjang	06°04'56.6"	105°27'21.4"
3	Pulau Rakata	06°08'47.4"	105°27'45.2"



Gambar 2. Peta Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Kepulauan Krakatau.

c. Tahap Pengambilan Sampel

1) Sampel Ikan Karang

Pengambilan sampel ikan karang dilakukan secara langsung sebanyak tiga kali pengulangan di setiap titik dengan menggunakan *speargun*. Kemudian sampel dimasukkan kedalam kantong sampel untuk

selanjutnya dimasukkan ke dalam *cool box* yang sudah berisi es balon.

2) Pengukuran Parameter Air Laut

Pengukuran parameter fisik dan kimia air laut dilakukan secara langsung di lapangan (*insitu*). Pengukuran dilakukan terhadap parameter suhu, pH, salinitas, dan kecerahan air laut. Parameter fisik dan kimia, alat dan metode disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4. Parameter dan Metoda Dalam Analisis Kualitas Air Laut

Parameter	Satuan	Metoda/Alat	Pengukuran
Suhu	°C	Termometer	<i>In situ</i>
Kecerahan	Meter	<i>Secchi disk</i>	<i>In situ</i>
Salinitas	‰	<i>Refraktometer</i>	<i>In situ</i>
pH	-	pH meter	<i>In situ</i>

d. Tahap Preparasi Sampel Ikan Karang

Preparasi sampel ikan karang dengan langkah sebagai berikut :

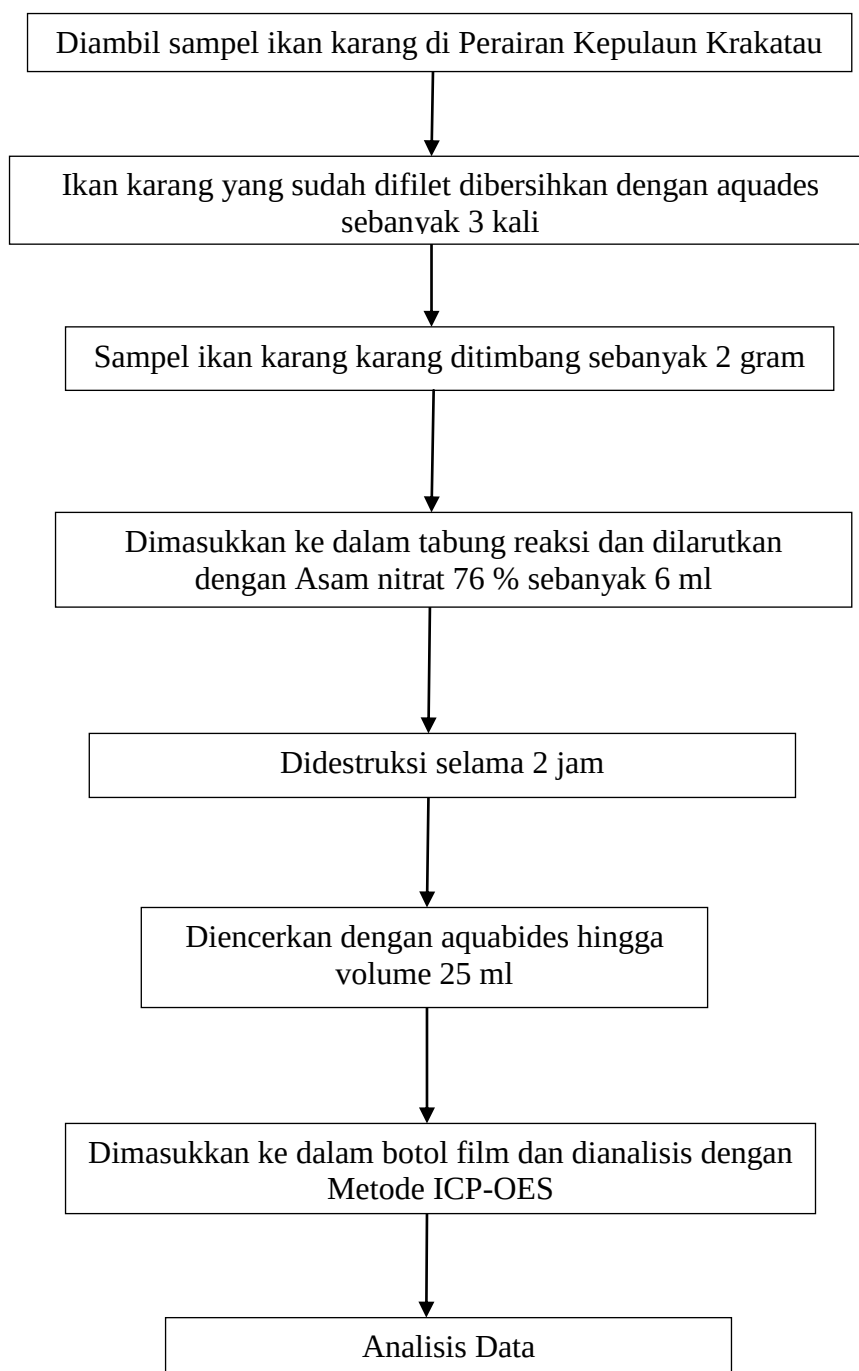
1. Sampel ikan karang dicuci dengan air mengalir, kemudian dibersihkan
2. Ikan karang yang sudah difilet, dicuci dengan menggunakan aquades sebanyak 3 kali dan ditimbang seberat 2 gram
3. Sampel dimasukkan kedalam tabung reaksi dan ditambahkan HNO_3 76 % masing-masing sebanyak 6 ml lalu didestruksi untuk mempermudah pelarutan
4. Sampel diencerkan masing-masing dengan akuabides hingga volume 25 ml

5. Sampel dimasukkan ke dalam botol film dan siap untuk dianalisa ICP-OES

D. Analisis Data

Hasil analisis logam berat pada air dan ikan karang di perairan Pulau Anak Krakatau, Pulau Panjang, dan Pulau Rakata dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan konsentrasi logam berat Cadmium (Cd), Nikel (Ni), kromium (Cr), Timbal (Pb), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn) Cobalt (Co) dan Perak (Ag) dengan Kriteria Baku Mutu Logam Berat pada Air Laut dan Ikan.

E. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa konsentrasi logam berat Pb, Ni, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn, Co, dan Ag pada *A. sohal*, *S. virgatus*, *S. schlegeli*, *A. xanthopterus*, *P. vittatus*, dan *A. nigricans* masih berada di bawah baku mutu menurut WHO, FAO, dan IAEA-407. Sementara itu, kandungan logam berat paling tinggi yang terdapat pada *Z. canescens* adalah Fe dengan nilai 144,27 µg/kg dan paling rendah adalah Co dengan nilai 0,99 µg/kg.

B. Saran

Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai kandungan logam berat pada organ yang lain seperti insang, hati, dan tulang pada spesies ikan karang di perairan Kepulauan Krakatau.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2008. *Toxicological Profile for Manganese (Draft for Public Comment)*. Atlanta GA: U.S. Departmene of Public Health and Human Services.Public Health Service.
- Akbar, H.S. 2002. Pendugaan Tingkat Akumulasi Logam Berat Cd, Pb, Cu, Zn dan Ni pada Kerang Hijau (*Penna viridis* L) ukuran . 5 cm di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. (Skripsi). Bogor.
- Alaerts dan S. S. Santika. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Usaha Nasional, Surabaya.
- ATSDR.1999. Toxicol. Profile of Cadmium. Agency for Toxic Substances and Drug. Registrar, Atlanta, GA. US Deptt. of Health and Human Services..
- Azis, M.F. 2006. Gerak Air di Laut. *Oseana*. 31: 9-21.
- Azwar, M., Emiyarti, Yusnaini. 2016. Critical Thermal Dari Ikan *Zebrasoma scopas* Yang Berasal Dari Perairan Pulau Hoga Kabupaten Wakatobi. *Sapa Laut*. 1: 60-66.
- Bahri, S. 2003. Tingkat Kontaminasi Logam Berat Hg dan Pb di Perairan Muara Cunda Lhokseumawe Aceh Utara. (Tesis). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Baird, C. 1995. *Environmental Chemistry*. W. H. Freeman and Company. New York.
- Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA). 2012). Kepulauan Krakatau. BKSDA Lampung.Lampung.
- Blaylock, B.G., dan Frank, M.L., 1979, A Comparison of the Toxicity of Nickel to the Devolving Egg and Larvae of Carp (*Cyprinus carlop*). *Bull, Envirom, Contam, Toxicol*. 21:604-611.
- Boss, C. B. dan Kenneth J. F., 1997.*Concepts, Instrumentation, and Techniquesin Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, Second Edition*.USA Perkin Elmer.

- Bryan, G.W. 1984. *Heavy Metal Contamination in The Sea*. Marine Pollution Bulletin. London Academica Press. London.
- Connel, D. W. dan Miller, G. J. 1995. *Kimia dan Otoksikologi Pencemaran*. Cetakan Pertama. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Cotton, F.A dan G. Wilkinson. 1988. *Kimia anorganik Dasar*. Penerjemah Sahati Suharto. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Cotton, F. Alert dan G. Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Penerjemah Sahati Suharto, Yarti A. Koestoer. UI Press, Jakarta.
- Darmono. 1995. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungan Dengan Toksikologi Logam Berat*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI Press, Jakarta.
- Darmono. 2008. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI-Press, Jakarta.
- Effendi, H. 2000. *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- English S, Wilkinson C, and Baker V. 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Townsville: Australian Institute of Marine Science.
- Fatmawati U, Sajidan dan Suranto. 2010. Potensi Mikroorganisme Sebagai Agen Bioremediasi dalam Menurunkan Kadar Cr (VI) dalam Limbah Cair Tekstil Hasil Pewarnaan . Dalam : *Seminar Nasional Pendidikan Biologi*. Prodi Biosains Pascasarjana UNS. Surakarta.
- Fardiaz, S. 2005. *Polusi air dan Udara*. Kanisius, Yogyakarta
- Galunin, E., Jefersen, F., Lago, Z., Isadora, V., Cesar, R.T.T., Taufik, A., Maria, J.S. 2014. Cadmium Mobility In Sediment And Soils Form a Coal Mining Area On Tibagi River Watershed: Enviromental risk Assesment. *Journal Of Hazardous Materials* 265. Brazil. Pp 1-8.

- Gerberding, J.L., 2005, *Toxicological Profile for Nickel*, Atlanta, Georgia, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology.
- Gobas, F. A., Wilcockson, J. B., Russel, R.W., and Haffner, H. E. 1999. Mechanism of Biomagnification in fish under laboratory and field condition. *Enviromental Science and Technology*. 33: 133-141.
- Goyer, R.A. 1986. Toxic Effect of Metals. In Toxicology. The Basic Science of Poison. Third Edition. Edited by: C.D Klaassen, M.O Amdur & J. Doull. Macmillan Publishing Company New York.
- Hanuun, N.I. 2017. Identifikasi Foraminifera dan Analisis Kandungan Logam Berat Pada Sedimen Laut dan Foraminifera Bentik di Perairan Cagar Alam Laut Krakatau Provinsi Lampung Dengan ICP-OES. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Hartuti, R.E. 2009. *Buku Pintar Gempa*. DIVA Press, Yogyakarta.
- Hasbi, R. 2007. Analisis Polutan Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) Dalam Sedimen Laut Pelabuhan Pantoloan Berdasarkan Kedalamannya. (Skripsi). UNTAD Press, Palu.
- Haspari. 2008. Penurunan Nikel (Ni) Dan Seng (Zn) dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Elektronik menggunakan Nikel (Tesis). Universitas GajahMada. Yogyakarta.
- Hou, Xiandeng dan Bradley T. Jones. 2000. *Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- Hutagalung, H. P. 1984. *Logam Berat dalam Lingkungan Laut*. *Pewarta Oceana*. IX No. 1.
- Hutomo, M. 1986. *Method of Sampling Coral Reef Research, Method and Adjacent Waters*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- <http://www.ukmarinesac.org.uk/activities.htm>. Diakses pada 16 September 2017.
- <http://www.lenntech.com/periodic/water/iron/iron-and-water.htm>. Diakses pada 16 September 2017.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) .2014. Gunung Krakatau. <http://www.vsi.esdm.go.id>. Diakses pada 16 September 2017.
- Katagi, T. 2010. Bioconcentration, Bioaccumulation, and Metabolism of pesticides in Aquatic Organism. In D. M. Whitacre, *Reviews of Enviromental*

- Contamination and Toxicology* (pp. 1-123). New York: Springer.
Doi: 10.1007/978-1-4419-1440-8_1.
- Karovic, O., Tonazzini, I., Rebol, N., Edstrom, E., Lovdahl, C., Fredholm, B.B. 2006. Toxic Effects of cobalt in primary cultures of mouse astrocytes. Similarities with Hypoxia and role of HIF-1 alpha. *Biochem pharmacol.* 73:694-708.
- Khasanah, N. E. 2009. Adsorpsi logam berat. *Jurnal Oseana*, 34:1-7.
- Lenntech. 2007. *Zinc and water: reaction mechanism, environmental impact and Health effects.*
<http://www.lenntech.com/elements-and-water/zinc-and-water.htm>.
Diakses tanggal 13 September 2017.
- Lippmann, M. 2000. Human exposure and their health effects. In: *Environmental Toxicants* (2nd Edition) Willey Interscience., USA. pp: 824-829.
- Lowe-McConnell, R.H. 1987. *Ecological Studies in Tropical Fish Communities.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Lu, F. C. 2006. *Toksikologi Dasar: asas, organ sasaran, dan penilaian resiko.* Penerjemah; Edi Nugroho; Pendamping Zunilda S. Bustami, Iwan Darmansyah. UI-Press, Jakarta.
- Manahan, S.C. 1994. *Environmental Chemistry, sixth edition.* Williard Grand Press, Boston.
- Mardin. 2011. Toksisitas Nikel (Ni) Terhadap Ikan Nila GIFT (*Oreochromis niloticus*) Pada Media Berkesadahan Lunak (Soft Hardness). (Tesis). Program Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Menzer, R.E and J.O. Nelson. 1986. Water and Soil Pollutants. *In Toxicology. The Basic Science of Poison.* Third Edition. Edited by: C.D Klaassen, M.O Amdur & J. Doull. Macmillan Publishing Company New York.
- Minarto, E., S. Heron, V. Elizabeth, G.P. Tjiong, M. Muzliman and S. Eka. 2008. Distribusi Temperatur dan Salinitas Bulan November 2008 di Selat Sunda. *Ilmu Kelautan.* 12: 79-92.
- National Academy of Science (NAS). 1979. Zinc. United States National Academy Of Sciences, National search Council, Subcommittee on Zinc. University Park Press, Baltimore, Md. 471 pp.
- National Research Council. 2004. *Forensic Analysis, Weighing Bullet Lead Evidence.*
<http://www.nap.edu/openbook.php?recordid=10924&page=15>.

Diakses tanggal 13 September 2017.

- Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologis* (dari Marine Biology: An Ecological Approach. Penerjemah E.H. Muhammad *et al.*, (edisi pertama). PT. Gramedia, Jakarta.
- Oktavia, R., I.P. John, P. Manurung. 2011. Variasi Muka Laut Dan Arus Geostrofik Permukaan Perairan Selat Sunda Berdasarkan Data Pasut dan Angin Tahun 2008. *Jurnal Ilmu Kelautan Tropis*. 3: 127-152.
- Putra JA. 2006. *Bioremoval, Metode Alternative Untuk Mengangani Pencemaran Logam Berat*. <http://www.chemistry.org>. Diakses pada 09 Oktober 2017.
- Prasad, A.S., F.W. Beck, B. Baso, J.T. Fitzgerald, D.C. Snell, J.D. Steinberg and L.J. Cardoso. 2007. Zinc supplementation decreases incidence of infection in the Elderly: Effect of zinc on generation of cytokines and oxidative stress. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 85: 837-844.
- Randall, J. E., G. R. Allen and R. Steene. 1990. *Fishes of The Great Barrier Reef and Coral Sea*. Second edition. University of Hawaii Presss, North American
- Risso-de-faverney, C., A. Devaus, M. Lafaurie, J.P. Girard, B. Bailly and R. Rahmani. 2001. Cadmium induces apoptosis and genotoxicity in rainbow trout hepatocytes trough generation of reactive oxygen species. *Aquatic Toxicol.* Amsterdam., 53: 65-76.
- Sale, P.F. 1991. *Introduction.p: 3-15 in P.F. Sale (ed) The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Academic Press, California.
- Sanusi, H. S. 2006. *Kimia Laut Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Sanusi HS, Putratno S. 2009. *Kimia Laut dan Pencemaran, Proses Fisik Kimia dan Interaksi dengan Lingkungan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Sembel, D.T. 2015. *Toksikologi Lingkungan edisi 1*. ANDI, Yogyakarta.
- Simon-Hettich, B., A. Wibbertmann, D. Wagner & H. Malcom. 2001. *Environmental Health Criteria 221, Zinc*. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc221.htm#5.0>. Diakses tanggal 13 September 2017.

- Solomon, F. 2008. Impact of metals on Aquatic Ecosystem and Human Health, Journal of Enviroment and Communities.
- Sopandi. 2000. “Asosiasi Keanekaragaman Spesies Ikan Karang dengan Persentase Penutupan Karang (LIFEFORM) di Perairan Pesisir Tengah dan Pesisir Utara,Lampung Barat”. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sudaryo dan Sutjipto., 2009. “Identifikasi dan penentuan logam pada tanah vulkanik didaerah Cangkringan Kabupaten Sleman dengan metode analisis aktivasi neutron cepat,” *Seminar nasional V SDM teknologi nuklir*. Yogyakarta.
- Sugiarto, K.H. 2003. *Kimia Organik II Common Textbook* (Edisi Revisi). Jurusan Kimia FPMIPA UNY. Yogyakarta.
- Sugiarto, K.H., Suyanti, and Retno. D. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Sunardi,2006.*116 Unsur Kimia Deskripsi dan Pemanfaatannya*. CV.YRAMA WIDYA, Bandung.
- Supriharyono. 2009. *Konservasi Ekosistem Sumberdaya Hayati*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Sutamihardja, R.T.M. 1982. *Inventarisasi dan Evaluasi Kualitas Lingkungan Lingkungan Hidup Pulau Dewata Bali*. Kantor Menteri Negara PPLH. Jakarta.
- Svehla, G. *Analisis Anorganik Kualitatif Mikro dan Semimikro edisi 5*. 1985. PT Kalman Media Pustaka, Jakarta.
- Underwood, EJ. And N.F Suttle. 2001. *The Mineral Nutrition of Livestock*. CABI Publishing, USA.
- Undang-undang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup Nomor 4 Tahun 1982.
- Wahyuni, E.T., S. Triyono, dan Suherman. 2012. Penentuan Komposisi Kimia Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi. *J. Manugian Dan Lingkungan*. 19:150-159.
- Widowati, W., Sastiono, A., Jusuf, R. 2008. *Efek Toksik Logam*. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Wikipedia Bahasa Indonesia.(2010). [Online]. Gunung Berapi. Tersedia: <http://id.wikipedia.org/wiki/> Diakses pada 10 September 2017.

- Wilson, A.L. 1976. Concentration of trace metals in river waters, a review. Technical Report No 16, Water Research Centre, Medmenham Laboratory and Stevenage Laboratory, U.K.
- Wood, C., Farrell A., and Brauner C. 2012. *Fish Physiology: Homeostasis and Toxicology of Essential Metals*. Vol. 31 A1st Edition. Academic Press, England. 520 page.
- Wootton, R.J. 1992. *Fish Ecology (Tertiary Level Biology)*. Blackie and Son Limited. New York. x+212pp.