

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA HEWAN KARANG
DI CAGAR ALAM LAUT KEPULAUAN KRAKATAU**

(Skripsi)

INTAN AGHNIYA SAFITRI



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

ABSTRAK

ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA HEWAN KARANG DI CAGAR ALAM LAUT KEPULAUAN KRAKATAU

Oleh

INTAN AGHNIYA SAFITRI

Aktivitas vulkanik Gunung Anak Krakatau menghasilkan abu vulkanik yang mengandung berbagai macam unsur logam yang akhirnya masuk keperairan disekitarnya dan kemudian akan mengendap di badan air dan sulit terurai. Logam berat ini dapat terakumulasi di dalam jaringan biota laut yang berada di perairan tersebut. Sebagai salah satu biota laut yang bersifat *sessil* maka potensi akumulasi logam berat pada jaringan hewan karang menjadi semakin besar. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai akumulasi logam berat Ag, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, dan Zn pada hewan karang di perairan Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau. Penelitian dilaksanakan dengan observasi langsung dilapangan pada tiga lokasi yaitu perairan Gunung Anak Krakatau, Pulau Panjang dan Lagoon Cabe Pulau Rakata. Hasil analisis logam berat dengan alat ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry*) diuraikan secara deskriptif.

Hasil analisis menunjukkan kandungan logam berat tertinggi dari ketiga titik pengambilan sampel yaitu logam Fe pada sampel yang di ambil dari Lagoon Cabe Pulau Rakata sebesar 169,88 µg/kg. Logam Ag tidak terdeteksi pada semua sampel dari ketiga titik pengambilan. Kesembilan logam berat yang dianalisis masih dibawah baku mutu logam berat bagi biota laut. Perairan Cagar Alam Laut Krakatau dalam kondisi baik terlihat dari parameter lingkungan dan kandungan logam berat yang masih di bawah baku mutu.

Kata Kunci : Aktivitas Vulkanik, *Sessil*, Akumulasi, Logam Berat, ICP-OES

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA HEWAN KARANG
DI CAGAR ALAM LAUT KEPULAUAN KRAKATAU**

Oleh

INTAN AGHNIYA SAFITRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai 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 HEWAN KARANG DI CAGAR
ALAM LAUT KEPULAUAN KRAKATAU**

Nama Mahasiswa

: **Intan Aghniya Safitri**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1417021052

Program Studi

: **Biologi**

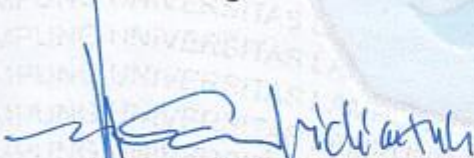
Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

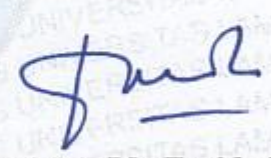
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



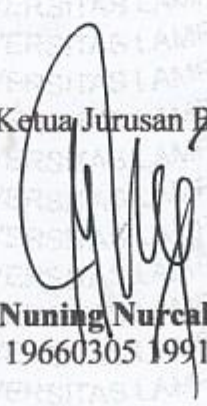
Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.
NIP 19610611 198603 2 001

Pembimbing II



Prof. Dr. Ida Farida Rivai
NIP 19490921 198112 2 001

2. Ketua Jurusan Biologi



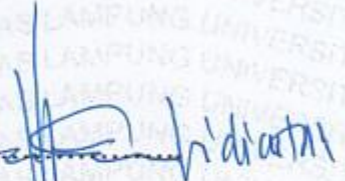
Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc
NIP 19660305 199103 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

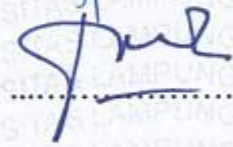
Ketua

: Endang Linirin Widiastuti, Ph.D



Sekretaris

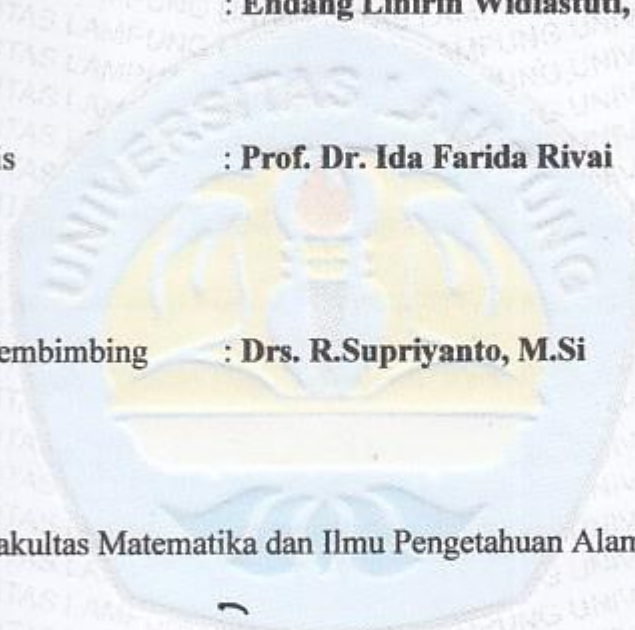
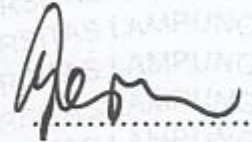
: Prof. Dr. Ida Farida Rivai



Penguji

Bukan Pembimbing

: Drs. R. Supriyanto, M.Si



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 Metro, pada tanggal 14 Februari 1996, sebagai anak pertama dari empat bersaudara, dari pasangan bapak Chamduana Tri Saputra dan ibu Kartika Diana Sari.

Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyiah

Wargomulyo, Pringsewu diselesaikan tahun 2002, Sekolah

Dasar (SD) diselesaikan di SDN 2 Wargomulyo, Pringsewu pada tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di MTS Alfatah Natar, Lampung Selatan pada tahun 2011, dan Sekolah Menengah Atas diselesaikan di MAS Alfatah Natar, Lampung Selatan pada tahun 2014.

Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa Biologi Universitas Lampung penulis pernah memperoleh beasiswa PPA pada tahun ketiga. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Mikrobiologi Umum FKIP. Penulis juga aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA Universitas Lampung sebagai anggota Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) periode 2015-2016 dan sekretaris bidang Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) periode 2016-2017, Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas (BEM-U) sebagai anggota

muda periode 2014-2015 dan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas MIPA (BEM-FMIPA) sebagai anggota Pengembangan Sains dan Lingkungan Hidup (PSLH) periode 2015-2016.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari – Maret 2017 di Desa Negara Aji Tua, Kec. Anak Tuha, Lampung Tengah dan pada bulan Juli - Agustus 2017, penulis melaksanakan kerja praktik di PT. SMART Biotechnology Center, Sentul, Bogor dengan judul “ **Identifikasi SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) Pada Gen-Gen Pengendali Pertambahan Tinggi yang Lambat Pada Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq)**”.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmaanirrahim

Assalamu 'alaikum warohmatullahi wabarokatuh

Kususun jari jemariku diatas keyboard laptopku dan bismillah sebagai pembuka kalimat persembahanku.

Sembah sujud serta puji dan syukurku pada-Mu ya Allah SWT, Rabb ku Tuhan Semesta Alam yang menciptakanku dengan bekal yang begitu teramat sempurna. Taburan cinta, kasih sayang, rahmat dan hidayat-Mu yang memberikanku kekuatan, kesehatan, kesabaran, dan keikhlasan untuk tidak pernah menyerah untuk tetap belajar sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

Alhamdulillah, Alhamdulillah, Alhamdulillah.

Kupersembahkan karya kecil ini untuk kedua orang tuaku tersayang, terkasih, tercinta.

Ayahanda Chamduana Tri Saputra dan Ibunda Kartika Diana Sari

Terimakasih setulusnya kuucapkan atas segala doa, kasih sayang, bimbingan, dekapan hangat, serta dukungan yang tiada henti kalian berikan kepadaku.

Adikku Dian Arsy Syafira, Bagas Putra Ikfilah, dan adik kecil Shafa Hafzin Nisa.

Terimakasih untuk hadir dalam hidup ku, untuk selalu menjadi penyemangat dan untuk segala kehangatan yang kalian berikan di rumah kecil kita.

Kalian yang memotivasi diri ini untuk selalu memperbaiki diri

Sahabat, Teman-teman, kakak-kakak, serta adik-adik terimakasih untuk segala motivasi, dukungan dan nasihat.

Serta Almamaterku tercinta

MOTTO

"Ketika hidup terasa sulit ber-Sabar lah, Ikhlaskan prosesnya"

- Penulis

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan (5)
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan (6)"
(Q.S Al-Insyirah : 5-6)

"Orang-orang beriman hati mereka menjadi tentram dengan berzikir
(mengingat) Allah. Ingatlah, Hanya dengan mengingat Allah hati menjadi
tentram" (Q.S Ar-Ra'd : 28)

"Hidup seperti sepeda, kau harus tetap bergerak supaya seimbang"

- Albert Einstein.

*"Jika kau tidak sanggup menahan pahitnya belajar, maka kau akan merasakan pahitnya
kebodohan"*

- Anonim.

"Man jadda wajada"

"Man Shobaro Zhafiro"

"Man Saaro 'ala darbi washola"

- Pepatah Arab

SANWACANA

Alhamdulillah, Alhamdulillahirobbil 'alamin. Puji syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Agung, Yang Maha ESA. Dengan segala rahmat dan kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Shalawat dan salam selalu untuk Nabi ku yang selalu ku muliakan, Nabi yang membimbing umatnya agar berada pada jalan yang benar, Nabi Muhammad SAW. *Allahumma sholli 'ala Muhammad.*

Skripsi dengan judul “Analisis Kandungan Logam Berat Pada Hewan Karang Di Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau” yang merupakan bagian dari penelitian institusi –didanai oleh PUSLITBANG Pesisir dan Kelautan – LPPM Universitas Lampung. Terimakasih penulis hanturkan yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan, dan dengan tulus penulis ucapkan kepada :

1. Ibu Endang Linirin Widiastuti, Ph.D selaku pembimbing I yang telah banyak memberikan pelajaran berharga kepada penulis serta untuk selalu dengan sabar membimbing, mengarahkan, dan menasihati penulis selama perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi ini berlangsung.

2. Ibu Prof. Dr. Ida Farida Rivai, selaku pembimbing II yang telah memberikan banyak nasihat, sabar, serta waktu untuk membimbing penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Drs. R. Supriyanto, M.Si. selaku pembahas yang telah memberikan banyak kritik, saran, serta nasihat kepada penulis.
4. Ibu Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc, selaku Pembimbing Akademik yang selalu memberikan dukungan serta nasihatnya selama penulis melaksanakan perkuliahan.
5. Kedua ayah ibuku, Chamduana Tri Saputra dan Kartika Diana Sari, untuk segala do'a, dukungan, nasihat, serta kasih sayangmu kepada penulis.
6. Adik-adikku, Dian, Bagas, dan Shafa untuk segala rasa hangat yang penulis terima selama ini.
7. Dedi Vernanda, atas segala waktunya untuk selalu mendengarkan dan mendukung penulis selama ini.
8. Sahabatku Eka, Hona, Irani, Nabiilah, Retno, dan Vielda. Sangat bersyukur untuk dapat mengenal kalian dan mempunyai cerita hidup bersama kalian.
9. Keluarga "Green House" Istiqomah, Agata yelin , Mb Lisa, untuk kebersamaanya selama ini.
10. BKSDA Reg Lampung, pak syarif, pak teguh, dan lainnya atas izinnya memasuki kawasan konservasi CAL Krakatau.
11. ABK KM Rakata, kak mute, kak kadek, gita, dan husein dari Anemon Diving Club atas segala bantuannya selama pengambilan sampel berlangsung
12. Teman-teman Cosin Alfa, 20-SKY, untuk segala dukungan kepada penulis, teruslah belajar hingga pahitnya belajar tak kau rasakan lagi.

13. Teman teman Biologi A 2014, atas segala bentuk kebersamaan selama penulis melaksanakan perkuliahan.
14. Teman-teman KKN desa Negara Aji Tua, Sumayyah Annida, Riris Resita, Yazid, Bang Agus, Bang Wahyu, Bang Andar untuk kebersamaannya selama 40 hari bersama.
15. Seluruh kakak dan adik tingkat Biologi Universitas Lampung

Serta untuk berbagai pihak yang telah membantu penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian yang telah penulis terima selama ini. Amin.

Demikianlah, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan pengetahuan bagi pelajar, mahasiswa maupun khalayak umum yang membacanya.

Bandar Lampung, 02 February 2018

Intan Aghniya Safitri

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DEPAN	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
RIWAYAT HIDUP	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	iv
SANWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Manfaat Penelitian.....	4
D. Kerangka Pemikiran.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Gunung Anak Krakatau.....	6
1. Status Konservasi	7
2. Aktivitas Vulkanik	7
B. Terumbu Karang	8
1. Ekosistem Terumbu Karang.....	8

2. Biologi Hewan Karang.....	9
3. Pembagian Hewan Karang.....	12
4. Pembentukan Terumbu Karang.....	15
5. Bentuk Pertumbuhan Hewan Karang.....	17
C. Faktor Lingkungan	17
1. Iklim	17
2. Suhu.....	18
3. Kecerahan.....	18
4. Derajat Keasaman (pH).....	19
5. Salinitas	20
D. Pencemaran Logam	21
1. Logam Fe.....	25
2. Logam Cd.....	25
3. Logam Pb	26
4. Logam Zn	27
5. Logam Ag.....	27
6. Logam Mn.....	28
7. Logam Co.....	29
8. Logam Cr.....	30
9. Logam Ni.....	31
E. ICP-OES.....	32
1. Prinsip Kerja	32
2. Instrumentasi ICP-OES.....	35
3. Kekurangan dan Kelebihan ICP-OES.....	35
III. METODE PENELITIAN	37
A. Waktu dan Tempat	37
B. Alat dan Bahan	38
C. Rancangan Penelitian	38
D. Pelaksanaan Penelitian	39
1. Pengambilan Sampel.....	39
1.1 Hewan Karang.....	39
1.2 Air Laut	39
2. Pengukuran Faktor Lingkungan.....	39
3. Preparasi Sampel.....	39
3.1 Sampel Hewan Karang.....	39
3.2 Sampel Air Laut	40
4. Analisis Kandungan Logam Berat	40
E. Parameter yang diamati	40
F. Analisa Data	41
G. Diagram Alir Penelitian	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Parameter Lingkungan	42
1. Derajat Keasaman (pH).....	42
2. Kecerahan.....	43
3. Salinitas	43

4. . Suhu	44
B. Kandungan Logam Pada Karang dan Air Laut	45
1. Kandungan Logam Pada Karang	45
2. Kandungan Logam Pada Air Laut	54
V. KESIMPULAN DAN SARAN	57
A. Kesimpulan.....	57
B. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Dampak beberapa polutan bagi perairan.....	22
Tabel 2. Bahan pencemar dan dampak bagi ekosistem terumbu karang	23
Tabel 3. Hasil pengukuran parameter lingkungan dengan standar baku mutu air laut untuk karang	42
Tabel 4. Kandungan logam pada karang dari 3 pulau berbeda di perairan CAL Kepulauan Krakatau.....	45
Tabel 5. Kandungan logam pada air laut dari 3 stasiun pengambilan perairan CAL Kepulauan Krakatau.....	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Anatomi umum tubuh karang.....	11
Gambar 2. Bentuk pertumbuhan karang	17
Gambar 3. Urutan pengapian penampang <i>torch</i> dan <i>load coil</i>	34
Gambar 4. Komponen utama serta susunan instrument ICP-OES.....	35
Gambar 5. Lokasi pengambilan sampel	37
Gambar 6. Diagram alir penelitian.....	41
Gambar 7. Pola arus Selat Sunda saat Musim Barat	56
Gambar 8. Sampel dari perairan Gunung Anak Krakatau (ST 1).....	67
Gambar 9. Sampel dari perairan Pulau Panjang (ST 2)	67
Gambar 10. Sampel dari perairan Lagoon Cabe Pulau Rakata (ST 3).....	67
Gambar 11. Pengukuran parameter lingkungan	68
Gambar 12. Penandaan titik lokasi pengambilan sampel dengan GPS.....	68
Gambar 13. Proses destruksi sampel	68
Gambar 14. Analisis dengan instrumen ICP-OES	68

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gunung Anak Krakatau merupakan gunung berapi yang terletak di perairan Selat Sunda dan termasuk ke dalam wilayah Provinsi Lampung tepatnya Kabupaten Lampung Selatan. Gunung Anak Krakatau memiliki tinggi pada tahun 2010 mencapai 450 mdpl (Starger *et al*, 2010). Gunung Anak Krakatau masih memiliki aktivitas vulkanik dan termasuk kedalam 129 gunung api aktif di Indonesia. 129 gunung api aktif ini membentang di sepanjang Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku, sampai ke Sulawesi Utara sepanjang 7000 km dan sekurangnya satu diantaranya meletus setiap tahunnya.

Letusan Gunung Anak Krakatau tercatat kurang lebih telah mengalami 80 kali letusan baik berupa eksplosif maupun efusif. Letusan yang dapat terjadi dari aktivitas Gunung Anak Krakatau ini yaitu dalam waktu 1-6 kali dalam setahun dengan waktu istirahat antara 1-8 tahun, namun tercatat pada tahun 1993 dan 2001 letusan dari Gunung Anak Krakatau ini terjadi hampir setiap hari (Sutawidjaja, 2006). Seperti dilaporkan oleh Kementerian ESDM pada Bulan Juni 2017 bahwa Gunung Anak Krakatau ditetapkan berstatus waspada dengan aktivitas baik secara visual maupun kegempaan yang masih relative tinggi walaupun tidak ada kejadian

bencana yang menyebabkan korban jiwa namun pelarangan nelayan dan wisatawan untuk tidak mendekati diberlakukan.

Wilayah kepulauan Krakatau merupakan wilayah yang ditetapkan sebagai Cagar Alam oleh gubernur jenderal Hindia Belanda pada tahun 1991 No. 83.Stbl.392 tanggal 11 Juli (BKSDA, 2015). Kepulauan Krakatau yang secara hukum telah ditetapkan sebagai suaka alam dengan status Cagar Alam yang harus dapat diawasi dan dikelola dengan sebaik mungkin mengacu pada peraturan yang ada, sehingga kerusakan ekosistem perairan yang ada dapat diminimalisir (Putra, 2014).

Sebagai salah satu gunung berapi di Indonesia yang aktif, maka salah satu material yang dihasilkannya berupa abu vulkanik. Abu vulkanik dilepaskan ke udara jika terjadi suatu letusan yang terdiri dari material besar sampai halus, material besar dapat mencapai kejauhan 5-7 km dari kawah gunung sedangkan material halus bisa mencapai kejauhan ribuan km dari sumber letusan, hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang membawanya (Suryani, 2014).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wahyuni *et al* (2012) ditemukan bahwa abu vulkanik mengandung berbagai macam unsur baik unsur minor maupun mayor. Unsur minor terdiri dari unsur nonlogam dan unsur logam. Unsur logam yang terdapat di abu vulkanik diantaranya Ba, Co, Cu, Pb, Sr, Zn, dan Zr. Unsur logam yang berbahaya juga terdapat di abu vulkanik dengan kadar sedikit seperti As, Cd, dan Ni. Logam-logam tersebut dapat dengan mudah mengendap di air dan sangat berbahaya karena logam sulit terurai dan mudah terakumulasi di tubuh organisme.

Tingginya aktivitas vulkanik yang dimiliki oleh Gunung Anak Krakatau ini telah mengeluarkan banyak material dan mempengaruhi biota baik terestrial maupun perairan, karena aktivitas ini berupa pelepasan erupsi yang bisa menyebabkan adanya akumulasi logam pada perairan di sekitar Gunung Anak Krakatau. Salah satu ekosistem yang terkena dampak tinggi yaitu karang yang ada di perairan sekitar kepulauan karakatau.

Adanya akumulasi logam pada perairan juga dapat disebabkan karena aktivitas manusia, beberapa aktivitas yang dapat menyebabkan adanya akumulasi logam yaitu penambangan minyak lepas pantai, pelayaran, tambang batu bara, dan lain sebagainya. Masuknya sisa aktivitas ini ke dalam perairan dapat menyebabkan proses terjadinya degradasi pada ekosistem laut khususnya ekosistem terumbu karang (Darmono,1995). Namun beberapa faktor oseanografi seperti suhu air laut, salinitas, pH air laut, adanya perubahan iklim, pola arus, curah hujan dan cuaca yang ekstrem dapat mengakibatkan peningkatan kerentanan pada kelangsungan hidup karang. Beberapa fenomena alam yang terjadi seperti aktivitas vulkanik, peningkatan suhu air laut dan tsunami juga menjadi faktor dinamisnya perubahan yang terjadi pada terumbu karang (Giyanto *et al*, 2017).

Terumbu karang dapat dijadikan sebagai bioindikator lingkungan yang digunakan sebagai salah satu cara pemantauan lingkungan perairan, hal ini dikarenakan kemampuan dari kerangka kapurnya yang mampu berasimilasi dengan logam dalam kurun waktu yang lama. Pengambilan serta pembagian logam pada bagian tubuh karang mempengaruhi efek negatif pada akumulasi logam yang ada (Mitchelmore *et al.*, 2007). Menurut Manuputty (2002) Sifat hidup yang saat fase

dewasa menetap pada suatu tempat atau *sessil*, hal ini akan semakin memperbesar kemungkinan adanya akumulasi logam pada tubuh hewan karang.

Untuk itu perlu dilakukan analisis kandungan unsur logam berat pada jaringan hewan karang untuk mengetahui nilai akumulasi logam berat pada hewan karang dan sebagai salah satu upaya monitoring lingkungan Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau sehingga evaluasi pengelolaan kawasan Cagar Alam dapat dilakukan secara maksimal melihat dari aspek toksisitas logam terhadap biota perairan.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai kandungan logam berat Ag, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, dan Zn pada hewan karang di Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau.

C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini mempunyai manfaat yaitu sebagai sumber informasi kandungan logam berat pada hewan karang sehingga dapat digunakan sebagai salah satu acuan dalam biomonitoring lingkungan Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau serta diharapkan dapat memberikan wawasan tentang logam berat kepada masyarakat, pelajar, peneliti dan menjadi masukan bagi Balai Konservasi Sumber Daya Alam dalam upaya pengelolaan dan pemantauan kondisi perairan kawasan konservasi Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau.

D. Kerangka Pemikiran

Salah satu dampak aktivitas vulkanik dari gunung berapi yaitu dilepaskannya abu vulkanik yang mengandung berbagai macam unsur logam baik unsur mayor, minor, logam dan nonlogam baik yang berbahaya maupun yang tidak berbahaya seperti logam Ba, Cu, Mn, Sr, Cr, Cd, V, Zn, Zr, Pb, Fe, Ni, dan lainnya. Abu vulkanik yang jatuh ke perairan di sekitar Cagar Alam Laut Krakatau dari Gunung Anak Krakatau akan masuk dan kemudian dapat diserap oleh berbagai biota laut yang terdapat di perairan tersebut. Karang merupakan salah satu biota laut penyusun utama ekosistem perairan yang memiliki nilai penting sebagai tempat hidup berbagai biota penyusun ekosistem terumbu karang, yang meliputi berbagai jenis ikan karang dan berbagai biota laut lainnya. Hewan karang merupakan pemasok kalsium karbonat terbesar di lingkungan perairan yang akan terendapkan secara masif menjadi terumbu karang dengan sedikit tambahan dari organisme lain seperti alga berkapur dan organisme lain yang mengeluarkan kalsium karbonat.

Logam berat yang terkandung pada abu vulkanik selanjutnya dapat terlarut dalam perairan. Logam berat tersebut dapat terakumulasi ke jaringan hewan karang yang bersifat sesil atau tidak berpindah tempat hidup pada saat fase dewasa dengan melekat pada suatu substrat. Dengan adanya aktivitas vulkanisme dari Gunung Anak Krakatau yang mengandung logam berat sehingga diduga kandungan logam tersebut dapat terkandung dalam jaringan hewan karang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gunung Anak Krakatau

Gunung Anak Krakatau terbentuk dari perselingan lapisan antara aliran lava dan endapan piroklastika yang merupakan hasil dari proses erupsi gunung berapi yang mengeluarkan bahan piroklastika yaitu berupa bahan material padat mencakup *lapili* (kerikil kecil), abu (partikel halus) , blok (bongkahan besar), batu apung dan batu api serta gumpalan besar lava cair (Malam, 2005). Bahan piroklastika ini akan mengendap dan menyebabkan terbentuknya kerucut hingga mencapai tinggi 315m (Sutawidjaja, 2006) dan pada tahun 2010 Gunung Anak Krakatau telah memiliki tinggi mencapai 450 mdpl (Starger *et al*, 2010).

Gunung Anak Krakatau terbentuk kembali setelah letusan dahsyat yang terjadi pada tahun 1883. Kawasan Kepulauan Krakatau terdiri atas 4 pulau utamanya yaitu Pulau Rakata, Gunung Anak Krakatau, Pulau Panjang, dan Pulau Sertung. Gunung Anak Krakatau tumbuh dari kedalaman 180 meter dan muncul pada permukaan pada tahun 1927 serta terus mengalami penambahan tinggi akibat aktivitas vulkanik yang hamper terjadi setiap tahunnya (Sutawidjaja, 2006). Pertambahan tinggi Gunung Anak Krakatau sekitar 20 inci perbulan dengan pertambahan tinggi rata-rata 20 kaki dan lebar 40 kaki pertahun (Dani, 2017).

1. Status Konservasi

Gunung Anak Krakatau termasuk kedalam wilayah Cagar Alam Krakatau, luas perairan Cagar Alam Krakatau seluas 11.200 Ha dengan daratan seluas 2.405,10 Ha yang terdiri dari 4 buah pulau utama yaitu Sertung, Rakata, Panjang, dan Gunung Anak Karakatau (BKSDA, 2015) ketiga pulau pertama merupakan hasil dari sisa pembentukan kaldera Gunung Krakatau purba (Francis, 1985) wilayah kepulauan Krakatau di nobatkan secara khusus sebagai wilayah Cagar Alam (CA) dan Cagar Laut (CL) yang dari sebelumnya sebagai Cagar Alam Kepulauan Krakatau pada tahun 1990 oleh Menteri Kehutanan RI. Pada tanggal 03 Mei 1990, pengelolaannya diberikan kepada Balai Konservasi Sumber Daya Alam Lampung setelah sebelumnya bergabung dengan Taman Nasional Ujung Kulon (BKSDA,2015). Pengelolaan kawasan Cagar Alam mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 28 Tahun 2011 mengacu pada UU No. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumberdaya Alam dan Ekosistemnya.

2. Aktivitas Vulkanik

Gunung Anak Krakatau muncul sejak tahun 1927 dan hingga saat ini telah mengalami letusan setidaknya sebanyak 80 kali dan terjadi antara 1-6 kali letusan dalam setahun, sedangkan antara tahun 1993 hingga 2001 hampir setiap hari terjadi letusan. Letusan ini berupa erupsi eksplosif atau efusif (Sutawidjaja, 2006). Letusan eksplosif dan efusif dibedakan berdasarkan kekuatan saat terjadinya letusan. Erupsi eksplosif yaitu berupa ledakan yang mengeluarkan sebagian besar bahan-bahan padat seperti *lapili*, batuan besar, kerikil, abu vulkanik, gas panas serta fluida di samping lelehan lava, erupsi eksplosif terjadi jika adanya tekanan yang tinggi akibat dari tekanan gas yang

kuat. Sedangkan erupsi efusif merupakan suatu letusan yang terjadi dengan lelehan lava yang keluar dari retakan pada tubuh gunung berapi atau dari lubang kawah gunung berapi, erupsi efusif ini terjadi jika lava dalam keadaan encer dan kandungan gas yang rendah (Noor, 2012).

B. Terumbu Karang

1. Ekosistem Terumbu Karang

Ekosistem terumbu karang tersusun atas biota laut dan segala kehidupan yang menjadikannya sebagai sumber daya alam yang sangat penting nilainya karena keberadaannya sebagai tempat hidup dari banyak jenis biota laut seperti ikan karang, plankton, dan biota laut lainnya. Keberadaan ikan karang di ekosistem terumbu karang selain memperindah lingkungan terumbu karang juga berpengaruh terhadap kesehatan terumbu karang itu sendiri (Dean dan Kleine, 2012). Ekosistem terumbu karang banyak dijumpai di sepanjang garis pantai perairan laut dangkal di daerah tropis . Karang menghasilkan endapan masif kalsium karbonat yang penting bagi pembentukan terumbu karang selain kalsium karbonat (CaCO_3) dari alga berkapur serta hewan yang menghasilkannya (Nybakken, 1992).

Secara garis besar karang terbagi atas dua kelompok utama yaitu kelompok *reef-building corals* yaitu kelompok yang berasosiasi dengan *zooxanthellae* dan hidupnya tergantung dengan keberadaan cahaya matahari untuk membentuk bangunan kapur yang kemudian membentuk terumbu (karang hermatipik). Kelompok kedua yaitu kelompok *non-reef building corals* yang

tidak membentuk bangunan karang dan hidupnya secara normal tidak tergantung akan keberadaan sinar matahari (Veron, 1986).

2. Biologi Hewan Karang

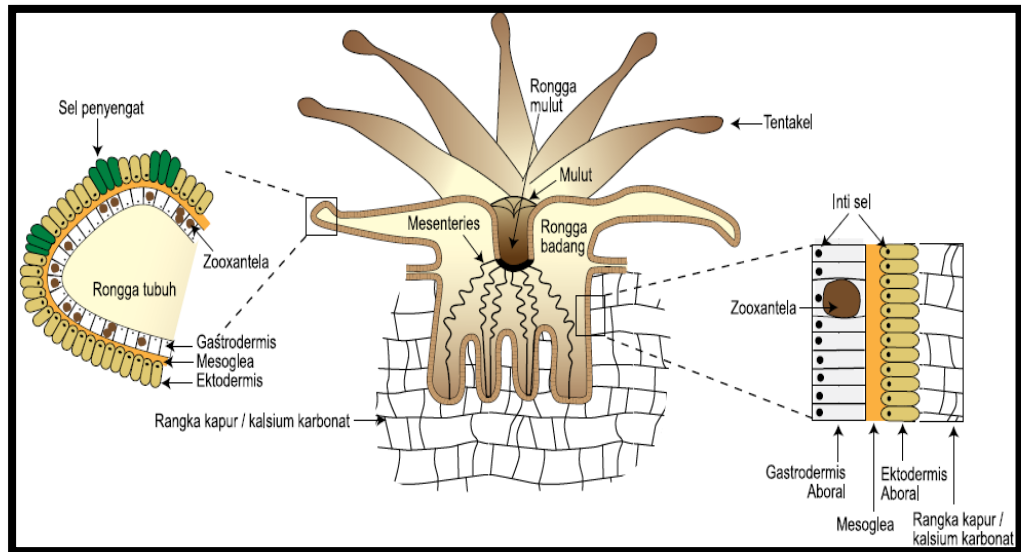
Karang merupakan binatang yang mempunyai *cnida* (*cnida*=jelata) atau sengat. Struktur morfologi dari tubuh karang sangatlah sederhana dimana bagian atas tubuhnya terdapat mulut sekaligus anus dan bentuk tubuhnya yang seperti tabung. Pada bagian mulutnya terdapat banyak tentakel yang mengelilinginya sebagai penangkap makanan. Setelah makanan masuk langsung disalurkan ke bagian rongga perut melewati tenggorokan yang pendek, dimana terdapat *mesentri filamen* didalam rongga perutnya yang berfungsi mencerna makanan yang masuk karena memiliki enzim, terdapat sel silia halus pada jaringan luar dari *mesentri filamen* (Suharsono,2008). Ada dua cara karang untuk mendapatkan makanan yaitu dengan menangkap zooplankton yang melayang di air dan dari hasil fotosintesis *zooxanthellae* yang hidup bersimbiosis dengan karang. Mekanisme penangkapan zooplankton dengan cara ditangkap menggunakan tentakel kemudian dibawa ke mulut dengan gerakan silia di sepanjang tentakel (Timotius, 2003).

Diantara *mesentri filamen* berkembang organ reproduksi. Pada karang yang hidup di daerah subtropis keberadaan organ reproduksi terkadang terlihat dan terkadang menghilang, dan pada karang di daerah tropis organ reproduksi dapat terlihat sepanjang tahun karena siklus reproduksinya berlangsung sepanjang tahun. Terkadang di temukan satu saja organ jantan atau organ betina pada polip hewan karang (*gonokoris*), terkadang ditemukan terdapat

kedua organ tersebut (*hermaprodit*), tetapi tingkat pemasakan pada *hermaprodit* cenderung tidak bersamaan (Suharsono, 2008).

Reproduksi seksual pada karang terjadi dengan pelepasan gamet yang membentuk planula. Beberapa karang melepaskan telur dan pembuahan terjadi di luar tubuh karang, tetapi ada juga yang terjadi di dalam tubuh karang dan akan dilepaskan dalam bentuk planula. Planula akan melakukan penempelan pada substrat dan planula akan tumbuh menjadi polip dan berkembang membentuk koloni baru. Reproduksi aseksual dilakukan dengan pemisahan tubuh atau rangka karang menjadi polip baru atau dengan membentuk tunas pada induk (Nybakken, 1992). Pembentukan tunas pada induk terbagi menjadi dua tipe yaitu *intratentakuler* dimana polip tumbuh dari polip lama sehingga terbentuk dua polip dan *ekstratentakuler* dimana polip tumbuh di sela-sela polip lain. Pertambahan polip ini jika tetap melekat pada induk hanya menambah ukuran koloni, jika polip terlepas dan mencari substrat pelekatan baru dan membentuk koloni disebut sebagai reproduksi aseksual (Timotius, 2003).

Hewan karang juga memiliki sistem syaraf dan sistem otot. Sistem syaraf hewan karang tersebar pada bagian mesoglea, endoderma dan ektoderma. Sistem syaraf ini di koordinasi oleh sel khusus yang memberikan respon terhadap adanya stimulus cahaya dengan respon mekanik maupun kimiawi sel dan disebut sebagai sel penghubung. Sebagai respon terhadap perintah jaringan syaraf, polip dapat bergerak mengendur dan mengkerut yang dibantu oleh jaringan otot yang terdapat di jaringan mesoglea (Suharsono, 2008).



Gambar 1. Anatomi umum tubuh karang (Dean dan Kleine, 2012)

Hewan karang memiliki dua lapisan jaringan sederhana yaitu ektodermis dan endodermis dipisahkan keduanya oleh jaringan mesoglea yang berfungsi sebagai penghubung (Birkeland, 1997). Pada bagian terluar terdiri atas sel mucus dan knidoblast (sel penyengat) yang merupakan bagian dari jaringan ektodermis. Nematosit adalah alat penyengat yang mengandung racun yang terdapat di dalam knidoblast yang berada pada tentakel hewan karang sebagai alat mencari mangsa dan aktif di malam hari. Jaringan mesoglea yang berada ditengah memiliki struktur seperti jely dan terdapat banyak fibril serta sel seperti otot pada lapisan luarnya (Suharsono, 2008).

Pada bagian dalam terdapat jaringan yang banyak mengandung alga mikroskopik atau disebut *zooxanthellae* yang bersimbiosis dengan hewan karang dan jaringan ini disebut sebagai jaringan endodermis (Burke *et al*, 2002). *Zooxanthellae* yang bersimbiosis dengan dengan karang diperkirakan mencapai jumlah >1 juta sel/cm³ permukaan karang. Simbiosis ini

menguntungkan bagi karang karena hasil fotosintesis berupa bahan organik dapat dimanfaatkan hewan karang serta dapat mempercepat proses kalsifikasi dimana fotosintesis dari *zooxanthellae* menaikkan pH dan menyediakan ion karbonat lebih banyak serta menyingkirkan inhibitor kalsifikasi berupa ion P yang digunakan oleh *zooxanthellae* untuk fotosintesis (Timotius, 2003).

3. Pembagian Hewan Karang

Hewan karang terbagi dalam dua Sub-kelas yaitu Sub-kelas Sclerectina atau Hexacorallia atau Zoantharia dan Sub-kelas Alcyonaria atau Octocorallia, kedua ordo ini termasuk kedalam kelas Anthozoa, Phylum Cnidaria atau Coelenterata. Hewan karang keras atau hardcoral masuk kedalam sub-kelas Sclerectina dan merupakan pembentuk utama terumbu karang (Suharsono,2008). Wells (1956) menyatakan Sub-kelas Sclerectina yang tersebar di Indo pasifik sebanyak 16 suku diantaranya :

Suku : Acroporidae

Agariciidae

Astrocoeniidae

Caryophylliidae

Dendrophylliidae

Faviidae

Fungiidae

Merulinidae

Mussidae

Oculinidae

Pectiniidae

Pocilloporidae

Poritidae

Siderastreidae

Trachyphylliidae

Marga dari sub-kelas sclerectina terdiri atas 119 marga yang tersebar di seluruh dunia (Veron, 1993). Hewan karang keras memiliki beberapa sifat yaitu memiliki kerangka kalsium karbonat yang keras, setiap polip mempunyai 6 tentakel atau kelipatan 6, berhubungan secara simbiotik dengan *Zooxanthellae*, dan struktur tubuhnya kokoh tidak bergerak (Dean dan Kleine, 2012).

Hewan karang lunak termasuk kedalam sub-kelas Alcyonaria atau Octocoralia, terdapat 6 ordo di dalam Kelas Anthozoa salah satunya Bangsa Alcyonaceae atau karang lunak sejati (Nugroho, 2008). Karang lunak mempunyai urutan klasifikasi (Manuputty, 2002) sebagai berikut :

Filum : Coelenterata

Kelas : Anthozoa

Sub-Kelas : Octocoralia

Bangsa : Stolonifera

Telestacea

Alcyonacea

Coenothecalia

Gorgonacea

Pennatulacea

Suku : Alcyoniidae

Marga : Sinularia

Dampia

Cladiella

Klyxum

Sarcophyton

Lobophytum

Paraminabea

Suku : Nephtheidae

Marga : Nephthea

Litophyton

Stereonephthya

Dendronephthya

Umbellulifera

Lemnalia

Paralemnalia

Capnella

Suku : Xeniidae

Marga : Xenia

Heteroxenia

Anthelia

Efflatounaria

Cespitularia

Sympodium

Sansibia

Funginus

Suku : Nidaliidae

Marga : Nidalia

Siphonogorgia

Chironephthya

Nephthyigorgia

Suku : Paracyoniidae

Marga : Studeriotes

Suku : asterospiculariidae

Marga : Asterospicularia

Hewan karang lunak memiliki beberapa sifat khas diantaranya kerangka tubuh tidak terdiri atas kalsium karbonat sehingga lunak dan tampak seperti berbulu, hanya sebagian yang berhubungan simbiotik dengan *Zooxanthellae*, setiap polip memiliki tentakel 8 atau kelipatan 8, struktur tubuhnya lunak dan dapat bergerak (Dean dan Kleine, 2012).

4. Pembentukan Terumbu Karang

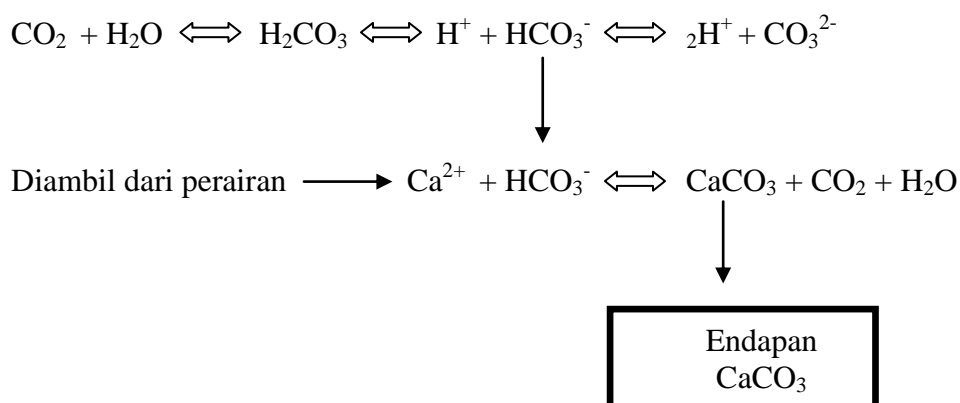
Pembentukan terumbu karang diawali dengan adanya endapan masif kalsium karbonat yang dihasilkan oleh hewan karang, proses pembentukan terumbu karang ini memerlukan proses yang kompleks dan lama (Nybakken, 1992).

Terumbu adalah gabungan dari beberapa bentuk rangka kapur hasil pembentukan bangunan kapur, pembentukan ini dimulai dari karang yang mengalami kolonisasi maupun yang soliter atau menyendiri. Kolonisasi dari karang hermatipik ini membentuk rangka kapur berbagai bentuk, dan pada karang soliter hanya menghasilkan satu bentuk rangka kapur (Warren, 2011). Tetapi menurut Nybakken (1992) karang hermatipik hampir semuanya hidup

berkoloni dan koloni ini terdiri atas banyak hewan karang atau polyp.

Zooxanthellae merupakan alga dari genus *Gymnodium* yang bersimbiosis dengan hewan karang yang menunjang perolehan nutrisi utama hewan karang karena peran penting *Zooxanthellae* sebagai pendaur ulang sisa metabolisme dan nutrisi karang. *Zooxanthellae* berada di polip hewan karang dan dalam menunjang kehidupannya alga ini melakukan fotosintesis sehingga dibutuhkan sinar matahari (Suharsono, 1996).

Pada saat *Zooxanthellae* melakukan fotosintesis, pada daerah terang karang hermatipik mensekresikan dan mendepositkan karang dua sampai tiga kali lebih cepat dari daerah gelap (Veron, 1986). Timotius (2003) menyatakan kalsifikasi pada karang akan membentuk bangunan kapur. Pembentukan ini terjadi dari proses deposit kapur yang bergantung akan ketersediaan ion kalsium dan ion karbonat yang didapatkan dari pemecahan asam karbonat yang akan membentuk endapan kalsium karbonat. Proses pembentukan endapan CaCO_3 sebagai berikut :



5. Bentuk pertumbuhan hewan karang

Pertumbuhan Karang membentuk kerangka yang unik, karang hermatipik umumnya membentuk koloni, bentukan koloninya bermacam macam (gambar 2) yaitu *Branching* (bercabang) yang umum ditemukan pada *Acropora*, *Tabulate*, *Encrusting* (kerak) pada spesies *Goniastrea* sp., *Sub –Massive*, *Massive* (batu) pada spesies *Platygyr* sp., *foliaceous* (lembaran) pada spesies *Turbinaria* sp., *free living* pada spesies *Fungiidae* sp., *Digitate* (menjari) serta *Soft* (Lunak) (Dean dan Kleine, 2012).



Gambar 2. Bentuk pertumbuhan karang (Dean dan Kleine, 2012)

C. Faktor Lingkungan

1. Iklim

Kondisi harian atau musiman dari atmosfer bumi disebut juga sebagai cuaca, dan rata-rata cuaca dalam jangka waktu panjang 30-50 tahun atau lebih disebut

iklim. Dalam periode iklim terkadang muncul anomali ketika cuaca yang hadir tidak dalam rata-rata iklim tertentu (Soon dan Baliunas, 2003). Suhu permukaan laut erat kaitannya dengan cuaca dan iklim dimana dapat dijadikan sebagai indikator penting dalam pemantauannya. Peranan penting lautan bagi keadaan iklim dimana karakternya yang mampu menyimpan panas untuk kemudian ditransfer ke bagian bumi lainnya (Byatt *et al*, 2001). Kemampuan lautan dalam menyimpan panas ini akan menyebabkan terjadinya peningkatan suhu air laut.

2. Suhu

Menurut Nybakken (1992) Rata-rata suhu air laut pada kisaran 23-25°C merupakan kisaran optimal pertumbuhan hewan karang. Jika terjadi kenaikan ataupun penurunan suhu air laut maka akan menyebabkan penghambatan pertumbuhan hingga kematian hewan karang (Musriadi, 2014). Kenaikan suhu sebesar 1° C di perairan akan meningkatkan kadar konsumsi oksigen sebesar 10%, semakin besarnya suhu juga menurunkan kadar oksigen terlarut di dalam perairan (Effendi, 2003). Namun suhu 36-40°C masih dapat ditolerir oleh terumbu karang (Kristiadhi, 2011). Pada kandungan nutrisi rendah dengan kisaran suhu 18-30°C terumbu karang dapat ditemukan di seluruh lautan tropis (Dean dan Kleine, 2012)

3. Kecerahan

Kebutuhan cahaya bagi alga simbiotik *zooxanthellae* untuk proses fotosintesisnya menyebabkan sangat diperlukannya cahaya serta pemenuhan akan kebutuhan oksigen bagi hidup terumbu karang (Nybakken, 1992).

Berkurangnya kemampuan dalam menghasilkan kalium karbonat sangat dipengaruhi oleh laju fotosintesis oleh alga simbiotik *zooxanthellae*. Tingkat irradiasi dalam mempercepat laju fotosintesis dipengaruhi oleh ketersediaan cahaya dalam membantu pertumbuhan terumbu karang yang bersimbiosis dengan *zooxanthellae*, namun bagi karang yang tidak bersimbiosis dengan *zooxanthellae* akan menyebabkan adanya penghambatan pertumbuhan, karena larva karang cenderung mencari tempat gelap untuk kemudian melekatkan diri pada substratnya (Kadir, 2013). Pada suatu perairan kecerahan dapat diukur dengan menggunakan alat *secchi disk*, alat ini dikembangkan oleh seorang profesor *secchi* pada abad 19. Waktu pengukuran, keadaan cuaca, dan padatan tersuspensi mempengaruhi nilai kecerahan yang akan di dapatkan. Kecerahan diukur dengan satuan meter. Pengukuran terbaik untuk kecerahan di lakukan saat cuaca sedang dalam kondisi cerah (Effendi, 2003).

4. Derajat Keasaman (pH)

Moore (1991) menyatakan ketersediaan unsur hara relatif tersedia banyak pada pH perairan 6-7. Tetapi kisaran pH 8,2-8,5 merupakan kisaran terbaik untuk habitat hewan karang (Kadir, 2013). Toleransi yang berbeda antar organisme terhadap derajat keasaman atau pH menyebabkan organisme memiliki batasan pH yang berbeda derajat keasaman yang tinggi akan memperkecil kelarutan logam di dalam perairan sehingga keasaman perairan juga berpengaruh terhadap sebaran logam berat yang terdapat di perairan. kemampuan laut dalam menyerap karbon dioksida dari udara menyebabkan perubahan sifat kimia air laut, peningkatan emisi CO₂ di udara akan menyebabkan peningkatan keasaman air laut dan menjadikan ketersediaan ion karbonat menjadi sedikit

sehingga pertumbuhan karang menjadi terhambat (Dean dan Kleine, 2012). pH yang rendah dapat meningkatkan toksisitas dari logam yang ada di perairan dan proses nitrifikasi akan berakhir sehingga dapat membahayakan biota akuatik. pH < 4 menyebabkan kematian sebagian besar biota akuatik namun beberapa jenis alga dapat bertahan seperti *euglena* dan *clamydomonas acidhopila* (Effendi, 2003).

5. Salinitas

Menurut Nybakken (1992) hewan karang mempunyai tingkat toleransi pada kisaran salinitas antara 32-35‰. Jika nilai salinitas perairan laut meningkat maka partikel ion logam yang telah terserap oleh partikel padat akan dilepaskan keperairan, karena saat salinitas tinggi kation alkali dan alkalin akan menggantikan posisi logam berat pada partikel padat yang dilepaskan ke perairan (Connel, 1995). Penurunan salinitas juga berdampak terhadap konsentrasi logam pada perairan yang akan berdampak buruk terhadap biota laut karena seiring penurunan salinitas maka konsentrasi logam berat akan semakin meningkat, maka tingkat salinitas perairan laut sangat berpengaruh terhadap kadar konsentrasi logam berat yang ada di perairan (Mukhtasor, 2007). Satuan salinitas dinyatakan dalam promil (‰) atau g/kg, nilai salinitas membagi perairan menjadi 4 tipe yaitu nilai salinitas 0 - 0,5‰ termasuk kedalam perairan tawar, nilai salinitas 0,5 – 30 ‰ termasuk kedalam perairan payau dan nilai salinitas untuk perairan laut sebesar 30 – 40 ‰. Hipersalinitas ditandai dengan nilai salinitas diatas 40 ‰. Seperti yang ada di laut mati yordania. Nilai salinitas bagi wilayah pesisir sangat di pengaruhi oleh muara sungai di sekitarnya (Effendi, 2003).

D. Pencemaran Logam

pencemaran yang paling membahayakan adalah pencemaran dari logam berat. Telah banyak kasus terjadi yang berdampak buruk terhadap makhluk hidup akibat dari pencemaran logam berat (Bachtiar, 2008). Kandungan logam dalam perairan tidak menjadi masalah jika kadarnya masih di bawah ambang toksik karena beberapa logam sampai kadar tertentu masih dibutuhkan oleh organisme sebagai *trace element essential* (Eryati, 2008). Jumlah dan aktivitas manusia, vulkanik, serta industri di sekitar perairan mempengaruhi kadar serta jenis dari logam berat yang ditemukan di perairan dapat memberikan peningkatan kadar logam dari ambang batas toksik.

Pada lingkungan perairan khususnya laut banyak ditemukan pencemaran logam. salah satu kasus yang menjadi perhatian para ilmuwan yaitu kasus pencemaran logam di perairan minamata jepang yang tercemar oleh logam Hg (MenLH, 2013). Pada penelitian yang di lakukan oleh Mellawati (2011) di temukan konsentrasi logam Pb dan Cd yang semakin meningkat dari tahun ketahun pada jenis karang *Porites* sp di Kepulauan Seribu yang diduga akibat dari tingginya aktivitas perindustrian yang mencemari perairan kepulauan seribu. Akumulasi logam yang ditemukan pada beberapa biota perairan seperti ikan yaitu Pb, Cd, Fe, Zn, dan Cu (Ashraf, *et al* 2012).

Masuknya logam keperairan secara alami dapat terjadi melalui 3 sumber utama yaitu dari daerah pantai akibat aktivitas gelombang dan abrasi pantai, pelepasan logam dari aktivitas vulkanik gunung berapi baik yang didalam laut maupun

gunung berapi yang dekat dengan laut dan masuknya logam dari lingkungan perairan dekat pantai maupun dari atmosfer (Bryan dan Lookwood, 1976).

Perairan sebagai tempat dijadikan muara dari berbagai polutan tentu memiliki banyak dampak. Dampaknya seperti yang tertera pada tabel berikut

Tabel 1. Dampak beberapa polutan bagi perairan

Jenis Polutan	Dampak
Trace Elements	Kesehatan manusia, Biota akuatik
Logam Berat	Kesehatan manusia, Biota akuatik
Logam terikat secara organik	Pemindahan logam
Radionuklida	Toksisitas
Polutan Anorganik	Toksisitas, biota akuatik
Asbestos	Kesehatan manusia
Nutrien Alga	Eutrofikasi
Keasaman, Alkalinitas, dan Salinitas	Kualitas perairan, kehidupan perairan
Limbah manusia dan hewan	Kualitas perairan, kandungan oksigen
Biochemical Oxygen Demand	Kualitas perairan, kandungan oksigen
Patogen	Dampak kesehatan
Detergen	Eutrofikasi, kehidupan liar, estetika
Polutan Trace organic	Toksisitas
Polychlorinated biphenyls	Kemungkinan efek biologis
Pestisida	Toksisitas, biota akuatik, kehidupan liar
Limbah minyak	Dampak ke kehidupan liar, estetika
Karsinogen kimia	Kanker
Sedimen	Kualitas perairan, biota akuatik
Rasa, bau dan warna	Estetika

Sumber : Bachtiar, 2008

Bagi terumbu karang, polutan pada perairan memiliki dampak yang sangat berbahaya baik bagi pertumbuhannya maupun ekosistemnya, beberapa jenis

bahan polutan dan dampak yang ditimbulkan bagi ekosistem terumbu karang diantaranya (Bachtiar, 2008).

Tabel 2. Bahan pencemar dan dampak bagi ekosistem terumbu karang

Polutan	Dampak
Sedimen	<ul style="list-style-type: none"> - Mengendap disekitar terumbu karang - Membunuh karang - Mengurangi intensitas cahaya untuk fotosintesis - Mengurangi tingkat pertumbuhan karang - Mengurangi luasan substrat yang cocok bagi penempelan larva karang
Limbah kronis	<ul style="list-style-type: none"> - Eutrofikasi lokal - Tingkat keberadaan bakteri dan virus yang tinggi - Infeksi pada mucus karang - Tingkat pertumbuhan alga yang sangat tinggi
Limbah (pada awal masuk)	<ul style="list-style-type: none"> - Penurunan tutupan karang <i>Acropora</i> spp - Perubahan karang dominan
Nitrogen dan fosfor terlarut	<ul style="list-style-type: none"> - Peningkatan makroalga - Peningkatan alga hijau - Peningkatan kepadatan bintang seribu
Limbah pertambangan	<ul style="list-style-type: none"> - Limbah logam berat menyebar sejauh hingga 5 Km dan bereaksi dengan skeleton karang

Sumber : Bachtiar, 2008

Mekanisme penyebab masuknya logam kedalam jaringan karang yaitu (Susiaty, 2010):

1. Makanan yang dikonsumsi oleh karang yaitu zooplankton yang juga terkontaminasi logam
2. Pemanfaatan jaring-jaring lendir untuk makan yang tidak hanya menangkap zooplankton namun sering terbawa sedimen kemudian tercerna kedalam tubuh karang.

3. Mesentri filamen yang terdorong dan tertekan untuk mencerna logam dari sedimen secara langsung.

Kemampuan karang dalam mengeliminir logam di dalam tubuhnya karena mempunyai suatu sistem yang unik menjadikan karang mampu bertahan hidup dan menjadi salah satu strategi karang untuk tetap bertahan pada kondisi perairan yang tidak sesuai dengan kondisi perairan normal (Eryati, 2008).

Logam yang memiliki berat jenis lebih dari 5 g/cm^3 digolongkan kedalam logam berat, logam sendiri mempunyai sifat yaitu dapat melepaskan elektron didalam air dan kemudian menjadi kation (Soemirat, 2003). Dalam kadar $10^{-5} - 10^{-2}$ secara alami logam terdapat di dalam perairan, namun kadar ini menjadi meningkat diakibatkan masuknya limbah yang mengandung logam kedalam perairan. logam berat memiliki manfaat bagi makhluk hidup karena di dalam tubuh makhluk hidup banyak terkandung senyawa baik organik maupun anorganik. Senyawa anorganik dapat meliputi berbagai macam unsur yang jumlahnya sangat sedikit sehingga lebih sering di kenal sebagai unsur runutan atau trace element. Unsur runutan ini hanya terkandung perberat basah jaringan sebanyak pikogram sampai mikrogram. Jika kandungan unsur ini tidak melebihi ambang batasan maka tidak menjadi masalah bagi biota laut tersendiri karena beberapa logam masih diperlukan bagi pertumbuhan (Sofyan, 2007).

Palar (1994) menyatakan logam berat mempunyai sifat yang menjadikannya berbahaya bagi lingkungan karena beracun yang mampu membentuk persenyawaan dengan gugus -sh pada enzim sehingga aktivitas enzim tidak dapat

berlangsung, tidak dapat dirombak atau dihancurkan oleh organisme dan secara langsung ataupun tidak langsung dapat terakumulasi didalam tubuh organisme.

1. Logam Fe (Besi)

Logam Fe merupakan logam yang aktif karena mampu bersenyawa dengan unsur lain, meskipun Fe adalah unsur yang konsentrasinya cukup tinggi namun tetap digolongkan kedalam unsur runtuhan (Sofyan, 2007). Pada pH perairan <5, logam Fe bersifat sangat mudah larut dan sangat mobile. Pada kondisi pH rendah juga akan mengakibatkan sifat logam Fe dapat membahayakan organisme akuatik dan menjadi beracun hanya dengan kadar >1mg/L (Moore, 1991).

Akumulasi logam Fe pada perairan akan membahayakan biota akuatik karena memiliki nilai faktor konsentrasi yang tinggi di dalam tubuh organisme dan sulit untuk didegradasi, walaupun dalam kadar tertentu masih dibutuhkan oleh organisme karena sifatnya yang essential, kegunaan Fe bagi organisme yaitu berkaitan erat dengan enzim seperti enzim peroksidase, katalase, sitokromoksidase dan nitrogenase. namun kenaikan kadar Fe yang tinggi dapat menjadi racun bagi organisme akuatik (Supriyantini dan Endrawati, 2015). Baku mutu logam Fe bagi kehidupan biota air sebesar 3 mg/L berdasarkan keputusan gubernur daerah khusus ibu kota Jakarta No. 1608 Tahun 1988 (Fardiaz, 1992).

2. Logam Cd (Cadmium)

Bahaya yang ditimbulkan oleh logam Cd karena sifatnya yang beracun sehingga keberadaannya di perairan sangat mengkhawatirkan dan dalam

konsentrasi yang lebih dari batasan dapat menyebabkan kematian bagi biota perairan, bagi bangsa *Crustacea* pencemaran sebesar 0.005-0.15 ppm dapat menyebabkan kematian dalam selang waktu 24-54 jam (Tarigan, 2003) dan pada keluarga Oligochaeta pencemaran Cd sebesar 0.0028-4.6 ppm dapat menyebabkan kematian dalam selang waktu 24-96 jam (Palar, 1994).

Kehadiran logam Cd pada tubuh organisme dapat menyebabkan kerusakan dengan penurunan laju metabolisme dan kemampuan reproduksi hingga menyebabkan kematian. Larva planula karang *Acropora* mengalami peningkatan kematian seiring dengan meningkatnya waktu paparan oleh logam Cd. Konsentrasi logam Cd sebanyak 32 mg/L menyebabkan rasio kematian larva diatas 80% bahkan sampai 100%. Logam Cd merusak jaringan sel pada larva planula karang sehingga terjadi perubahan bentuk hingga kematian sel dan larva menjadi seperti kapas. Ciri-ciri larva yang sehat memiliki bentuk elips memanjang dengan warna kuning keemasan dan aktif berenang (Nimzet, 2015). Di perairan laut kadar normal logam Cd bagi biota laut yang ditetapkan oleh MenLH No. 51 Tahun 2004 sebesar 0,001 mg/l. FAO menetapkan kadar normal Cd sebesar $\leq 0,01$ mg/l dan PP No. 81 Tahun 2001 sebesar $\leq 0,2$ mg/l.

3. Logam Pb (Timbal)

Akumulasi logam Pb pada karang masif ditemukan dalam konsentrasi yang bervariasi (Mellawati dan Ramadlan, 2011) pada terumbu karang *Porites lutea* yang diambil dari laut merah terekam konsentrasi Pb hingga 32 ppm dan pada *Porites compressa* sebesar 30,8 ppm dari berbagai lingkaran tahun yang diukur (Rousan *et al*, 2007). Sifat logam Pb ini beracun bagi seluruh makhluk hidup

dengan kadar paparan tinggi dan menurut Cassaret dan Doulls (2001) makhluk hidup tidak memiliki kebutuhan biologis terhadap logam Pb. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kadir (2013), akumulasi logam Pb pada badan karang terjadi melalui rantai makanan dimana proses rantai makanan dari fitoplankton, zooplankton hingga akhirnya tercerna oleh polip karang. Namun partikel tersuspensi yang tinggi pada perairan menyebabkan penghambatan penyerapan logam oleh karang.

4. Logam Zn (Seng)

Didalam perairan Zn memiliki kadar normal sebesar 2.0 ppb atau 0.002 ppm. Kadar ini lebih rendah dari kadar baku mutu air oleh departement lingkungan pemerintah Dubai sebesar 0,02 mg/L. Sifat Zn yang dalam kadar rendah dibutuhkan bagi makhluk hidup sebagai ko-enzim namun pada konsentrasi tinggi menjadi beracun (Bryan, 1976). Logam Zn pada penelitian yang dilakukan oleh Susiati (2010) di perairan Pulau Panjang ditemukan akumulasi Zn pada jaringan *Acropora* yang telah melebihi ambang batasan baku mutu dan hal ini dikhawatirkan dapat mengganggu proses kelangsungan hidup biota laut lain yang bersosiasi dengan karang seperti ikan karang yang akan terakumulasi di tubuh ikan dan selanjutnya akan dikonsumsi sebagai bahan pangan. Pada KepMen LH No. 51 Tahun 2004 standar baku mutu untuk logam Zn bagi biota laut sebesar 0,05 mg/L.

5. Logam Ag (Perak)

Logam Ag termasuk kedalam logam transisi dengan nomor atom 47 golongan IB periode 5 dalam sistem periodik unsur. Logam ini di lambangkan dengan

Ag yang berasal dari bahasa latin *Argentum*. Logam Ag banyak digunakan dalam koin, perhiasan, dan fotografi. Perak memiliki konduktivitas dan daya hantar listrik paling tinggi di antara semua jenis logam dan sifatnya stabil saat di udara maupun di air. Logam Ag bersifat tidak reaktif sehingga digolongkan kedalam logam mulia, namun dapat mengalami oksidasi. persenyawaan Ag menyebabkan bahaya yang serius karena senyawa Ag dapat di serap oleh jaringan tubuh dan dapat terdepositkan (Fitria, 2014). Logam Ag termasuk ke dalam logam sangat beracun karena dapat menyebabkan gangguan kesehatan bahkan hingga kematian. Tingkat toksisitas Ag adalah ketiga setelah merkuri dan kadmium. Dalam perairan logam Ag berbentuk ion, yang dapat tertimbun di jaringan karena mampu berikatan dengan protein. Logam yang mampu berikatan dengan protein disebut *metallotionein*. Logam ini di serap oleh hewan air langsung dari perairan atau dari rantai makanan (Palar, 1994). Selain itu logam Ag banyak dihasilkan dari industri eletroplating dan fotografi.

6. Logam Mn (Mangan)

Logam Mn di dalam tabel periodik unsur memiliki nomor atom 25 dengan lambang Mn golongan VII. Jari-jari atom dari logam Mn 1,35° A, berat atom 54,93, dengan titik lebur sekitar 1244 KJ/mol dan titik didih 2095° C, dengan kelarutan di air sebesar $8,72 \times 10^4$ pada uhu 25°C (Peters *et al*, 2010). Logam Mn merupakan logam yang tergolong kedalam logam essential, karena keberadaanya dibutuhkan oleh organisme sebagai komponen enzim. Organisme akuatik seperti diatom, moluska dan spons mampu mengakumulasi Mn di dalam tubuhnya. Pada perairan, dengan pH tinggi logam Mn berbentuk MnO_2 dan pada perairan dengan DO rendah menjadi Mn^{2+} (Achmad, 2004).

Organisme yang mengalami defisiensi Mn akan terganggu pertumbuhan dan reproduksinya. Kelebihan Mn juga akan menyebabkan masalah perkembangan syaraf, gangguan pembuluh darah dan kerusakan otak. Keracunan Mn kronis disebut dengan *manganisme*. Mn banyak dihasilkan oleh industri baja dan merupakan komponen kunci dari industri stainless steel dan aluminium tertentu. Mn banyak terdapat di dalam partikel debu di daerah yang dekat dengan pertambangan bijih Mn sehingga dapat terhirup melalui pernafasan dan dapat terbawa angin hingga kejauhan (ILO, 2009).

7. Logam Co (Cobalt)

Unsur Co mempunyai nomor atom 27 dengan massa atom 58,9332 g/mol. Titik didih logam Co 2927° C dan titik lebur 1495° C. Logam Co jarang ditemukan karena merupakan hasil samping dari penambangan logam lain terutama logam nikel dan tembaga. Pada alga dari jenis alga hijau-biru (Cyanobacteria) dan organisme pengikat nitrogen lainnya logam Co dibutuhkan dalam membantu pengikatan nitrogen. Bagi manusia unsur Co merupakan koenzim yaitu *cobalamin* dan sebagai penyusun vitamin B12 yang penting untuk pembentukan sel darah merah, tetapi dalam kadar tinggi berpotensi menyebabkan keracunan dengan gejala diare, peningkatan tekanan darah, mabuk, dan pernapasan lambat (Dantje,2015). Logam Co dapat masuk ke dalam jaringan melalui paparan langsung atau dari makanan yang dikonsumsi. Peningkatan kadar senyawa Co di lingkungan dapat disebabkan oleh aktivitas vulkanik, debu, kebakaran hutan, dan aktivitas manusia seperti pembakaran batu bara, minyak bumi, dan hasil dari aktivitas industri

8. Logam Cr (Chromium)

Logam Cr memiliki nomor atom 24 dengan massa atom 51,996 g/mol. Titik didih logam Cr sebesar 2672°C dan titik lebur 1907°C . Keberadaan Cr di alam sangat berlimpah dalam bentuk hexavalent (Cr^{6+}) dan trivalent (Cr^{3+}). Industri penyamakan kulit, gelas kramik, dan tekstil banyak menghasilkan limbah yang mengandung Cr^{3+} dan industri pelapisan logam serta produksi pigmen menghasilkan limbah yang mengandung Cr^{6+} . Logam Cr paling banyak digunakan dalam industri cat dan tinta. Atmosfer menjadi media transfer utama bagi Cr untuk masuk ke ekosistem lainnya.

Bentuk hexavalent (Cr^{6+}) merupakan bentuk paling mudah untuk mengalami perpindahan pada ekosistem. Bentuk trivalent (Cr^{3+}) akan terlebih dahulu mengalami reaksi redoks menjadi hexavalent (Cr^{6+}) sebelum mengalami perpindahan dari tanah ke air. Logam Cr terdapat di atmosfer bersumber dari aktivitas manusia sebanyak 60-70% dan dari alam sebanyak 30-40% (Bielicka *et al*, 2005).

Masuknya logam Cr kedalam perairan dapat membahayakan biota akuatik di dalamnya, karena logam Cr dapat terakumulasi di dalam tubuh organisme. Kadar logam Cr yang tinggi dapat menyebabkan penghambatan kerja enzim sehingga dapat mengganggu metabolisme sel. Bagi manusia dalam kadar rendah, logam Cr merupakan logam esensial karena berguna dalam metabolisme karbohidrat, dan dalam metabolisme protein membantu pembentukan berbagai asam amino seperti glisin, serin dan metionin sehingga defisiensinya dapat menghambat metabolisme dari karbohidrat, hiperglisemia,

dan gangguan pernafasan. Kelebihan logam Cr bagi manusia menyebabkan keracunan, alergi, kerusakan organ, bahkan hingga kematian (Bramandita, 2009). Paparan logam Cr dapat menyebabkan mutasi genetik sehingga memicu pertumbuhan kanker pada hewan percobaan (Sukenjah, 2006). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 menetapkan baku mutu kromium untuk air bagi biota akuatik sebesar 0,05 mg/l.

9. Logam Ni (Nikel)

Logam Ni merupakan unsur dengan nomor atom 28 dengan massa atom 58,71 g/mol. Titik lebur logam nikel sebesar 1453° C dan titik didih 2913° C. Kemampuan bahan organik dalam menyerap Ni menyebabkan batu bara dan minyak bumi banyak mengandung Ni. Logam Ni banyak terdapat pada kacang-kacangan dan teh. Logam Ni merupakan logam essential pada organisme karena menjadi komponen bagi beberapa enzim. Logam Ni banyak dimanfaatkan dalam industri stainless steel, sebagai pencampuran baja, bahan pembuatan uang logam, dan sebagai katalis dari bahan kimia lainnya. Paparan logam Ni yang tinggi pada manusia menyebabkan beberapa efek seperti kemungkinan lebih tinggi akan mengalami kanker, kegagalan pernafasan, asma dan bronkhitis akut, kecacatan pada janin, serta gangguan jantung. Pada biota perairan seperti alga, konsentrasi logam Ni yang tinggi menurunkan tingkat pertumbuhan alga.

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

Alat ICP pertama kali dikembangkan untuk spektrometri emisi optik pada pertengahan tahun 1960 oleh Fassel di Iowa State University, Amerika Serikat dan Greenfield di Albright & Wilson, Ltd, Inggris. ICP dapat digunakan untuk pengukuran kadar logam dari berbagai matriks sampel yang berbeda (Hou dan Jones, 2000). Aplikasi alat ICP – OES dapat digunakan pada banyak kategori seperti pada pertanian dan makanan, biologi dan klinik, geologi, air dan lingkungan, logam, dan bahan organik. Aplikasi ICP-OES pada biologi dan klinik banyak digunakan untuk determinasi trace element pada sistem biologi (Boss dan Fredeen, 2004).

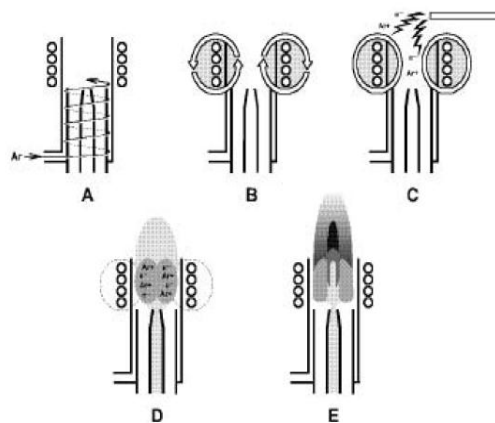
1. Prinsip Kerja

Teknik dasar dari ICP-OES yaitu Emisi spontan foton dari atom dan ion yang telah di eksitasi pada *radio-frequency discharge*. Cairan dan gas akan diinjeksikan ke dalam instrumen, sehingga mengapa sampel padat harus diekstraksi terlebih dahulu dengan digesti asam karena analisis dilakukan dari sampel dalam bentuk larutan. Cairan sampel akan diubah menjadi aerosol dan langsung dibawa ke pusat plasma. Pada inti ICP-OES ini dipertahankan suhunya mencapai 6000-10.000 K (lebih dari 3300°-9700 C) yang ditunjukkan pada gambar 5, sehingga aerosol cepat menguap. Element analisis dibebaskan sebagai atom bebas dalam keadaan gas. Lebih jauh, eksitasi tabrakan didalam plasma memberikan energi tambahan pada atom dan mengangkat ke keadaan tereksitasi. Energi yang cukup tersedia mengubah atom menjadi ion kemudian akan mengubah keadaan ion menjadi tereksitasi. Baik atom ataupun ion

tereksitasi kemudian dapat perlahan ke keadaan dasar melalui emisi gas foton. Foton mempunyai karakteristik energi yang ditentukan oleh struktur tingkat energi untuk atom dan ion. Panjang gelombang yang dipancarkan oleh foton ini yang akan diidentifikasi unsur asalnya. Total foton yang teridentifikasi secara langsung berbanding lurus dengan konsentrasi asli unsur didalam sampel. Asosiasi dengan sistem optik menjadikan lebih mudah, dimana sebagian foton yang dipancarkan oleh alat ICP akan dikumpulkan oleh lensa cekung. Optik terfokus membentuk gambar ICP pada lubang masuk dari seleksi gelombang seperti monokromator. Gelombang yang keluar dari monokromator akan diubah menjadi sinyal listrik oleh fotodetektor. Sinyal listrik ini akan ditampilkan pada layar komputer (Hou dan Jones, 2000).

Pada instrumen ICP-OES terdapat sebuah kumparan tembaga, disebut *load coil*, yang mengelilingi ujung atas *torch* dan terhubung dengan RF (*Radio Frequency*) generator. Gas argon akan diarahkan melalui *torch* yang terdiri dari tiga buah tabung konsentris dari bahan kuarsa atau bahan lainnya yang sesuai untuk *torch* (Gambar 4). Osilasi atau arus bolak balik dari daya RF pada *load coil* akan menyebabkan terbentuknya medan listrik dan medan magnet pada atas *torch*. Gas argon akan berputar diatas *torch* dan menyebabkan elektron menjadi terlepas dari atom gas argon. Elektron dari gas argon akan diperangkap dan dipercepat pada medan magnet. Penambahan energi elektron dengan kumparan disebut sebagai *inductively coupling*. Pelepasan lebih banyak elektron dilakukan dengan menumbukkan atom argon dengan elektron berenergi tinggi. *Inductively coupled plasma (ICP) discharge* terjadi ketika gas diubah menjadi plasma yang terdiri dari atom argon, ion argon dan

elektron. ionisasi tumbukan gas argon pada reaksi berantai menyebabkan gas dapat diubah menjadi plasma. Keadaan *ICP discharge* ini dipertahankan selama proses transfer energi RF dengan *inductive coupling* di dalam *torch* dan *load coil*. Perbedaan lokasi pada plasma ditunjukkan pada gambar 5. Fungsi *ICP discharge* ini dengan suhu tinggi untuk dapat menghilangkan pelarut pada aerosol dengan hanya menyisakan partikel garam mikroskopis, untuk selanjutnya partikel garam diuapkan dan diatomisasi dan akan dieksitasi dan ionisasi sehingga dapat memancarkan radiasi (Boss dan Fredeen, 2004).

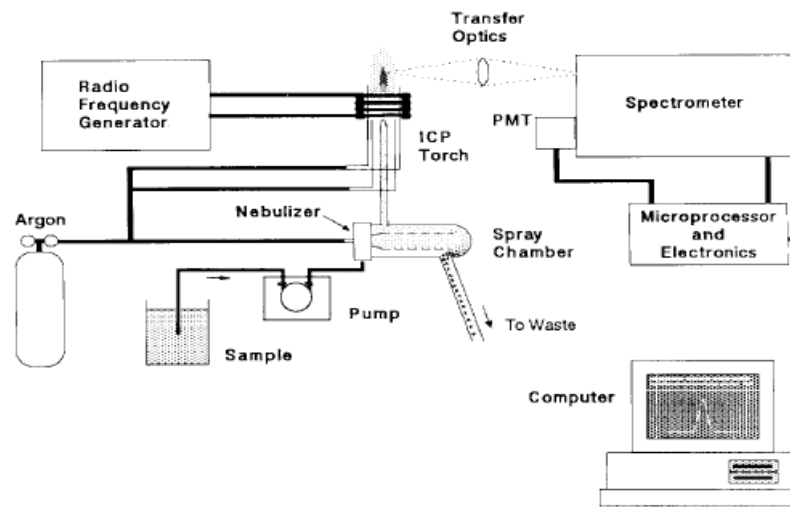


Keterangan :

- A. Gas argon berputar melalui torch
- B. Daya RF di aplikasikan pada load coil
- C. Percikan menghasilkan elektron bebas dari gas argon
- D. Elektron bebas di percepat oleh medan RF yang menyebabkan ionisasi lanjut dan membentuk plasma
- E. Aliran nebulizer yang membawa sampel aerosol di lubang plasma

Gambar 3. Urutan pengapian penampang *torch* dan *load coil* (Boss dan Freeden, 2004)

2. Instrumentasi ICP – OES (*Inductively Coupled plasma-Optical Emission Spectrometry*)



Gambar 4. Komponen utama serta susunan instrumen ICP-OES (Boss dan Fredeen, 2004)

Pada *inductively couple plasma – optical emission spectrometry* sampel ditransportasikan ke instrumen dalam bentuk cairan. Proses nebulisasi merubah cairan menjadi aerosol oleh alat nebulizer. Aerosol selanjutnya ditransportasikan ke pusat plasma dimana aerosol akan diuapkan, diatomisasi, diionisasi dan atau dieksitasi oleh plasma. Radiasi khas dipancarkan dari eksitasi atom dan ion yang akan dikumpulkan oleh alat yang memilah radiasi dengan panjang gelombang dari polikromatik menjadi monokromatik atau pendispersian panjang gelombang oleh monokromator . Radiasi akan dideteksi dan diubah menjadi sinyal elektronik yang akan diubah menjadi informasi konsentrasi analisis. (Boss dan Fredeen, 2004).

3. Kekurangan dan Kelebihan ICP-OES

Kekurangan utama dari ICP-OES adalah sampel hanya berupa sampel cair, sehingga sampel padat harus dipreparasi dengan digesti asam untuk dilarutkan

menjadi cairan. Walaupun ICP-OES dapat mendeteksi semua unsur kecuali argon, tetapi beberapa unsur tidak stabil dan ICP memiliki kesulitan dalam analisis unsur halogen. Keuntungan dari penggunaan ICP-OES yaitu dapat digunakan untuk deteksi banyak unsur secara bersamaan dalam jangka waktu singkat, suhu atomisasi lebih tinggi dan lingkungan analisis yang *inert*, dengan batasan deteksi rendah hingga 1-100 mg/L. Tidak digunakannya elektroda pada instrumen ICP-OES menjadikan tidak akan adanya pengotor dari elektroda. Beberapa keuntungan dari sumber ICP diantaranya : (Hou, 2004).

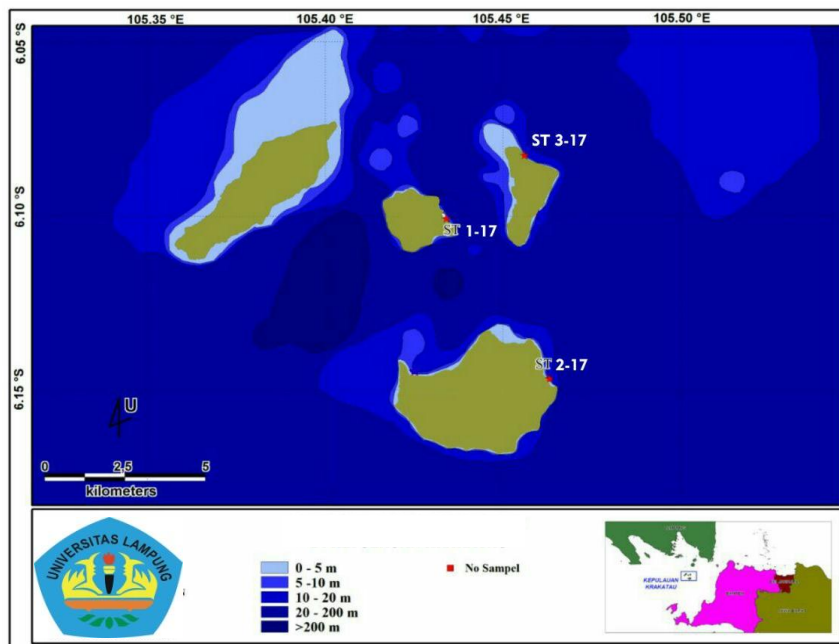
- a. Suhu tinggi (7000-8000 K).
- b. Kerapatan elektron tinggi (10^{24} - 10^{16} cm³).
- c. Derajat ionisasi luas untuk banyak unsur (lebih dari 70 unsur termasuk P dan S).
- d. Gangguan kimia rendah.
- e. Limit deteksi unggul untuk sebagian unsur (0.1-100ng/mL).
- f. Akurasi tinggi dan presisi baik karena stabilitas yang tinggi.
- g. LDR (*Linear Dynamic Range*) yang luas (4-6 kali lipat).
- h. Dapat digunakan untuk unsur refraktori.
- i. Biaya analisis lebih murah.

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini di laksanakan dari bulan April 2017 sampai Februari 2018.

Pengambilan sampel dilakukan di 3 titik utama CAL Krakatau seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Ket : ST 1-17 : Pulau Anak Krakatau (06°06'02.1"LS, 105°26'02.4"BT)
ST 2-17 : Pulau Panjang (06°04'56.6"LS, 105°27'21.4"BT)
ST 3-17 : Lagun Cabe Pulau Rakata (06°08'47.4"LS,105°27'45.2"BT)

Gambar 5. Lokasi pengambilan sampel

Preparasi sampel dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung. Analisis kandungan logam dilakukan di laboratorium UPT LTSIT Universitas Lampung dengan alat ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*) atau spektrometri emisi optik.

B. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kapal BKSDA dan perahu motor kecil yang digunakan sebagai alat transportasi. *secchi disk* untuk mengukur kecerahan, *refraktometer* untuk mengukur salinitas, *thermometer* untuk mengukur suhu air laut, kertas pH untuk mengukur pH air laut, GPS (*Global Positioning System*) sebagai alat penentuan titik koordinat pengambilan sampel, Kulkas sebagai tempat menyimpan sampel, plastik *zeeper* sebagai wadah sampel, *dry ice* dan *ice blok* untuk pendingin, *coolbox* untuk tempat sampel dari lokasi pengambilan, pisau lipat untuk memotong bagian tubuh karang, alat alat gelas laboratorium untuk proses destruksi, neraca analitik untuk menimbang, dan seperangkat alat ICP OES (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*) (Varian 715-ES) untuk mengukur kandungan logam pada sample. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sample terumbu karang dari masing masing titik pengambilan, *aquadest*, *aquabidest*, dan HNO₃ pekat.

C. Rancangan Penelitian

Penelitian di laksanakan dengan cara observasi langsung di lapangan. Hasil kandungan logam dari pengukuran dengan metode ICP-OES akan di analisis secara deskriptif .

D. Pelaksanaan Penelitian

1. Pengambilan sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada 3 pulau di Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau yaitu Anak Krakatau, Pulau Panjang, dan Pulau Rakata selanjutnya ditandai menggunakan alat *Global Positioning System (GPS)*.

1.1 Hewan Karang

Pengambilan sample dilakukan dengan menyelam menggunakan alat *scuba* dan kemudian memotong bagian tubuh hewan karang sepanjang 2 cm. Hewan karang dengan koloni terbanyak di ambil secara acak sebanyak 3 kali ulangan, kemudian sampel di masukkan ke dalam plastik *zeeper* dan dimasukkan kedalam *coolbox* yang berisi *dry ice* dan *ice block*.

1.2 Air Laut

Sampel air laut di ambil dan dimasukkan kedalam botol dari titik yang sama pada saat pengambilan sampel hewan karang

2. Pengukuran faktor lingkungan

Pengukuran faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, kecerahan, dan pH dilakukan diatas sampan dengan menggunakan alat analisis lingkungan di titik GPS yang sama dengan titik pengambilan sampel.

3. Preparasi sampel.

3.1 Sampel Hewan Karang

a. Pencucian sampel

Sampel karang dari setiap titik yang diambil dari Cagar Alam Laut

Kepulauan Krakatau dicuci dengan aquadest dan dibilas sebanyak 3 kali

untuk menghilangkan air laut yang tersisa pada sample supaya terhindar dari adanya kontaminasi alami dari air laut

b. Destruksi sampel

Proses destruksi sample dengan destruksi basah. sebanyak 2 gram sampel hewan karang dimasukkan kedalam tabung destruksi dan ditambahkan 6 ml HNO_3 pekat kemudian dipanaskan pada suhu 150°C selama 2 jam. Hasil destruksi di simpan di botol film untuk kemudian dibawa ke alat analisis logam berat ICP-OES.

3.2 Sampel Air Laut

Sampel air laut sebanyak 20 ml di teteskan dengan 5 tetes HNO_3 pekat dan kemudian dianalisis dengan alat ICP-OES.

4. Analisis kandungan logam berat

Persiapkan alat ICP-OES dengan menyambungkan alat dengan tabung gas Argon. Cairan sampel hasil destruksi dimasukkan kedalam tabung reaksi dan diletakkan di rak tabung untuk kemudian di letakkan di autosampel pada alat ICP-OES. Pada komputer yang telah terhubung dengan alat ICP-OES di masukkan urutan sampel sesuai dengan penempatan tabung reaksi berisi sampel pada autosampel. Hidupkan alat ICP-OES dan tunggu proses analisis berjalan hingga selesai.

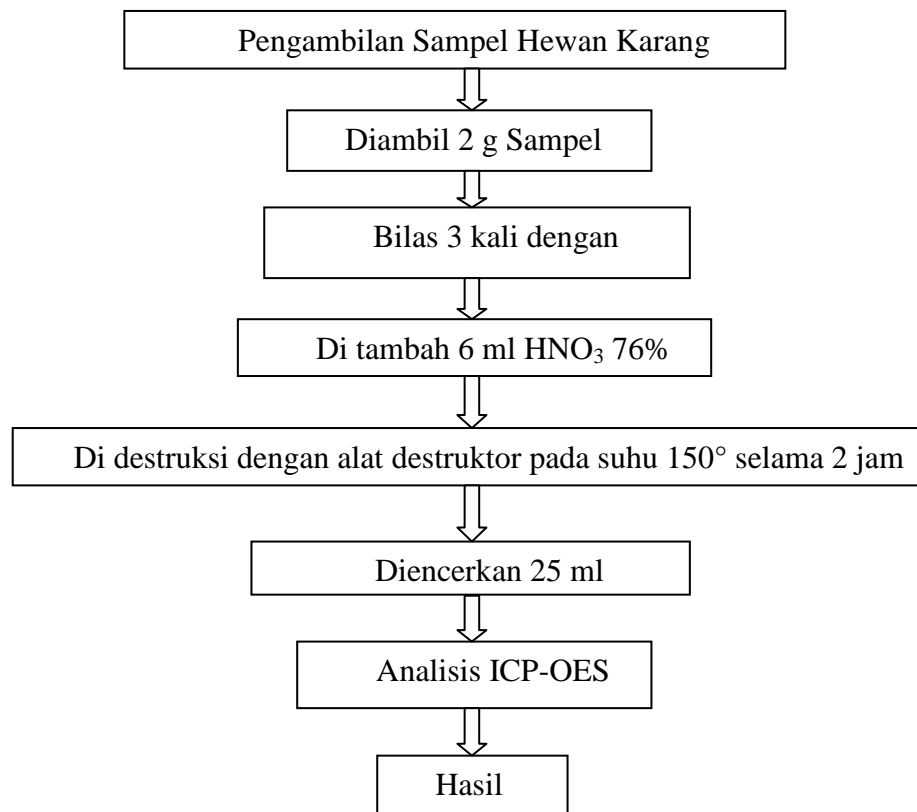
E. Parameter yang diamati

Logam yang di analisis dari hewan karang yang diperoleh dari Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau yaitu Ag, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, dan Zn.

F. Analisis Data

Data nilai kadar logam berat (Ag, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, dan Zn) pada hewan karang yang diperoleh dari analisis ICP-OES kemudian dianalisa secara deskriptif dengan membandingkan pada batasan mutu kandungan logam dari beberapa penelitian sebelumnya dan dari hasil pengukuran logam berat pada air laut.

G. Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Simpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Perairan Cagar Alam Laut Krakatau dalam kondisi baik terlihat dari parameter lingkungan dan kandungan logam berat yang masih di bawah baku mutu.
2. Kandungan logam berat tertinggi yang ditemukan pada karang di CAL Krakatau yaitu logam Fe pada sampel dari Lagoon Cabe Pulau Rakata sebesar 169,88 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dan Logam Ag tidak terdeteksi pada semua sampel dari semua stasiun pengambilan.
3. Kandungan logam tertinggi di air laut CAL Krakatau yaitu logam Pb sebesar 0,19 $\mu\text{g}/\text{L}$ dari Pulau Panjang.

B. Saran

Perlu dilakukan monitoring berkala terhadap kandungan logam pada biota laut lainnya di perairan CAL Krakatau sebagai salah satu upaya pengelolaan wilayah Cagar Alam sehingga perkembangannya dapat berlangsung secara alami.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. *Kimia Lingkungan Edisi 1*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Abdelhamid, A.M., M.A Hamed., H El-Azim. 2010. Heavy Metal Distribution in The Coral Reef Ecosystem of The Northern Red Sea. *Journal of Marine Research*. Vol 65 : 67-80.
- Apeti, D A., A L Mason., S I Hartwell., A S Pait., L.J Bauer., C.F.G Jeffrey., A.M. Hoffman., F.R Galdo., dan S.J Pitman. 2014. An Assessment Of Contaminant Body Burdens In The Coral (*Porites astreoides*) And Queen Conch (*Strombus gigas*) From St. Thomas East End Reserves (STEER). NOAA technical Memorandum NOS/NCNOOS 177. Silver Spring, MD. 37pp.
- Arisandi, A., A S Riyadi., R Tuliandri., S T Nurul., E Rina., M Zahli., Z Amin., U Zahroh., M Saleh., L Ermawati. 2013. Dampak Konsentrasi Fe dan Pb terhadap Morfologi Zooplankton di Tambak Socah Bengkalan. *Jurnal Kelautan*. Vol. 6 No. 1 : 1907-9931.
- Ashraf, M.A., Maah, M.J., dan Yusoff, I. 2012. Bioaccumulating of Heavy Metals in Fish Species Collected From Former Tin Mining Catchment. *International Journal Environment*. Vol. 6 No. 1: 161-166.
- Bachtiar, R. 2008. Perekamana suhu permukaan laut dan kandungan logam dengan teknik *sclerochronology* terumbu karang (Tesis) Sekolah pascasarjana IPB. Bogor.
- Barasa, R.F., Abdul, R., dan Mariani, S. 2013. Dampak Debu Vulkanik Letusan Gunung Sinabung terhadap Kadar Cu, Pb, dan B Tanah di Kabupaten Karo. *Jurnal Agroekoteknologi*. Vol. 1 No. 4
- Barka, S. 2007. Detoksifikasi jejak logam terlarut dalam copepoda laut *Tigriopus brevicornis* Mull terpapar Cu, Zn, Ni, Cd, Ag dan Hg. *Jurnal Ekotoksikologi*. Vol 16 : 491-502.
- Bielicka, A., Bojonowska, I., dan Winiewski, A. 2005. Two Faces of Chromium- Polution and Bioelement. *Journal Environmental Studies*. Vol.14 No.1 : 5-10.

- Birkeland, C. 1997. *Life and Death Of Coral Reefs*. International Thomson Publishing. New York.
- BKSDA. 2015. *Gunung Berapi di Lampung yang Mengusik Dunia*. BKSDA Lampung. . Bandar Lampung
- BMKG. 2016. Data Iklim Tahun 2016. diakses pada tgl 2 Desember 2017. <http://www.sbbkab.go.id/bmkg-stasiun-klimatologi>.
- Boss, C B., dan K J Fredeen. 2004. *Concept, Instrumentation, and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry-Third Edition*. Perkin Elmer Inc. USA.
- Bramandita, A. 2009. Pengendapan Kromium Heksavalen dengan Serbuk Besi (Skripsi). Departemen Kimia IPB. Bogor.
- Bryan, G.W., Lookwood, A. P. M. 1976. *Effect Of Pollution and Physiology of Marine Organism*. Academic Press. . London
- Burke, L M., E. Selig., dan M. Spalding. 2002. *Reefs at Risk in Southeast Asia*. World Resource Institute, United Nations Environment Program-World Conservation Monitoring Centre. California.
- Byatt, A., A. Fothergill., dan M. Holmes. 2001. *The Blue Planet a Natural History of The Oceans*. BBC. New York
- Cassaret, dan Doulls. 2001. *Toxicology : The Basic Science of Poison 6th Edition*. Curtis D. K (ed). McGraw-Hill Professional. New York.
- Connel, D W. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Koestoer, Yanti (penerjemah). Universitas Indonesia. Jakarta.
- Cotton, S L. 2005. *Laboratory Equipment and Description*. Academic Press. . London
- Dani, M S. 2017. Proses Terbentuknya Anak Krakatau.(Artikel). Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Das, K K., S.N Das., S.a Dhundasi. 2008. Nickel, its adverse health effects & oxidative stress. *Indian Journal Medicine Res.* 128, 412-425.
- Dantje, T S. 2015. *Toksikologi Lingkungan, Dampak Pencemaran Berbagai Bahan Kimia Bagi Kehidupan Sehari-hari*. Andi Offset. Yogyakarta.

- Dean, A., D. Kleine. 2012. *Terumbu karang dan perubahan iklim*. Coral watch, the university of Queensland. Queensland.
- DLH. 2017. Logam Kromium (Cr) dalam Perairan. Dinas Lingkungan Hidup Lebak. Diakses 02 Desember 2017.
www.dlh.lebakkab.go.id/detail/logam-kromium-dalam-perairan.
- Edwin, T., T Ihsan., W Pratiwi. Uji Toksisitas Akut Logam Timbal (Pb), Krom (Cr) dan Cobalt (Co) terhadap *Daphnia magna*. *Jurnal Dampak*. Vol. 14 No. 1.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- EIA (Environmental Impact Assessment). 2015. *Umm Al Houl Independent Water and Power Plant (IWPP)*. Umm Al Haul Company. Abu Dhabi.
- Eryati, R. 2008. Akumulasi Logam Berat dan Pengaruhnya Terhadap Morfologi Jaringan Lunak Karang di Perairan Tanjung Jumlai, Panajam Paser Utara, Kalimantan Timur. (Tesis). Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius. Yogyakarta.
- Fitria, M. 2014. Unsur Logam Transisi : Perak (Ag). Jurusan Kimia. FMIPA. Unila.
- Francis, P.W., 1985. The origin of the 1883 Krakatau tsunamis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol 3: No. 25. 349-364.
- Gallon, C., dan Flegal, A.R. 2015. *Source, Fluxes, and Biogeochemical Cycling of Silver in The Oceans*. Springer Intrnational Publishing. Santa Cruz USA.
- GBRMPA (Great Barrier Reef Marine Park Authority). 2010. *Water Quality Guidelines for the Great Barrier Reef Marine Park*. Australia Government. Townsville.
- Giyanto, A.M., dan H. Tri., *et al.* 2017. *Status Terumbu Karang Indonesia 2017*. COREMAP-CTI LIPI. Jakarta.
- Hanuun, N.I. 2017. Identifikasi Foraminifera dan Analisa Kandungan Logam Berat Pada Sedimen Laut dan Foraminifera Bentik di Perairan Cagar Alam Laut Krakatau Provinsi Lampung dengan ICP-OES. (Skripsi). Jurusan Biologi FMIPA Unila. Bandar Lampung.
- Hou, X., dan B T Jones. 2000. *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry in Encyclopedia Of Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons Ltd. Chicester.

- ICdA (International Cadmium Assosiation). 2013. Level of Cadmium in The Environment. www.cadmium.org/environment/level-of-cadmium.htm. (2 Des 2017).
- Iglic, K.L. 2011. Trace Metal Limitation and Its Role in Oxidative Stress of Coral Agal Symbionts; implication for thermally induced coral bleaching events. Electric Thesis and Disertation Repository. 282. <http://ir.lib.uwo.ca/etd/282>.
- Kadir, H. 2013. Biokonsetrasi Logam Berat Pb Pada Karang Lunak *Sinularia polydactyla* di Perairan Pulau LaeLae, Pulau Bonebatang dan Pulau Badi (Skripsi) Ilmu Kelautan FKIK Universitas Hasanudin. Makassar.
- Kristiadhi. 2011. Distribusi dan Kondisi Terumbu Karang di Perairan Pulau Biawak Kabupaten Indramayu. (Skripsi). Ilmu Kelautan Universitas Padjajaran. Bandung.
- Kalbassi, M.R., Hamid, S.J., Ali, J. 2011. Toxicity of Silver Nanoparticles in Aquatic Ecosystem Salinity as The Main Cause in Reducing Toxicity. *Iranian Journal of Toxicity*. Vol. 5 No. 1-2: 436-443
- Kristiadhi. 2011. Distribusi dan kondisi terumbu karang diperairan Pulau Biawak Kabupaten Indramayu. (Skripsi). Ilmu Kelautan Universitas padjajaran. Jatinagor.
- Manuputty, A. E. N. 2002. *Karang Lunak (Soft Coral) Perairan Indonesia*. LIPI. Jakarta.
- Manuputty, A E.N. 1996. Pengenalan Beberapa Karang Lunak (Octocoralia, Alcyonaceae) di Lapangan. *Jurnal Oseana*. Vol XXI. No. 04. 1-11
- Malam, J. 2005. *Planet Bumi*. Raharjo, B., dan Eddy, M H (ed). Erlangga. Jakarta.
- Martin. K., Huggins, T., King, C., Carrol, M.A., Catapane, E.J. 2008. The Neurotoxic effect of Manganese on The Aminergic Innervation of The Gill of The Bivalve Molluc, *Crassostrea virginica*. *Comp Biochem, Physiol, Toxicol & Pharmacol*. 148 (2) : 152-159
- Mellawati, J., B. Ramadlan. 2011. Sebaran timbal dan kadmium dalam terumbu karang Perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Ecolab*. Vol. 5 No. 1 1-44.
- MenLH. 2013. Upaya Penanggulangan Merkuri Sebagai Pencemar Global. www.menlh.go.id/upaya-penanggulangan-merkuri.htm. (09 Sept 2017)
- Menry, P. 2008. Analisis Unsur Logam Berat Dalam Jaringan Koral Dari Pantai Nanggroe Aceh Darusalam Dengan Teknik Analisis Pengaktifan Neutron (Apn). *Journal for The Applications of Isotopes and Radiation*. Vol 4, No.1.

- MI EPA (Marine Institute for Environmental Protection Agency). 2010. *An Assessment of Dangerous Substances in Water Framework Directive Transitional and Coastal Water : 2007-2009*. Marine Environmental and Food Safety Services.
- Mitchelmore, C L., V. E. Alan., dan W. Virginia M. 2007. Uptake and Partitioning of Copper and Cadmium in The Coral *Pocillopora damicornis*. *Jurnal Aquatic Toxicology*. Vol. 85. No. 1 48-56.
- Moore, J. W. 1991. *Inorganic Contamination of Surface Water*. Springer-Verlag. . New York
- Mukhtasor. 2007. *Pencemaran Pesisir dan Laut*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Musriadi. 2014. Akumulasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) Pada Karang *Acropora formosa* dan *Acropora hyacinthus* di Pulau Samalona, Barranglompo, dan Bonebatang, Kota Makassar (Skripsi) Ilmu Kelautan FKIK Universitas Hasanudin. Makassar.
- Najamuddin. 2017. Dinamika Logam Berat Pb dan Zn di Perairan Estuaria Jenebeng, Makassar (Tesis) Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Nimzet, R. 2015. Toksisitas Akut Logam Kadmium (Cd) Terhadap Planula Karang *Acropora* sp. (Skripsi) Jurusan Ilmu Kelautan , Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Nugroho, S. C. 2008. Tingkat Kelangsungan Hidup dan Laju Pertumbuhan Transplantasi Karang Lunak *Sinularia dura* dan *Labophytum strictum* di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Jakarta (Skripsi) Ilmu Kelautan Dan Perikanan FKIK IPB. Bogor.
- Nurwahidah. 2014. Faktor Bioakumulasi Logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Karang Lunak *Nephthea sp* dan *Sinularia polydactyla* di Perairan Pulau Samalona, Pulau Barranglompo dan Pulau Bonebatang, Kota Makassar (Skripsi) Jurusan Ilmu Kelautan FIKP Universitas Hasanudin. Makassar.
- Noor, D. 2012. *Pengantar Mitigasi Bencana Geologi*. Deepublish. Yogyakarta.
- Nybakken, J. W., R L, Wallace. 1992. *Biologi Laut – Suatu Pendekatan Ekologis*. Gramedia. Jakarta.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Puspitasari, R. 2007. Laju Polutan dalam Ekosistem Laut. *Jurnal Oseana*. Vol 32 No.2 : 21-28.

- Putra, A. S. 2014. Kolonisasi Komunitas Karang di Cagar Alam Laut Karakatau, dan Implikasi Pengelolaannya (Tesis) Sekolah Pascasarjana Institute Pertanian Bogor. Bogor.
- Peters, A., Crane, M., Maycock, D., Merrington, G., Simpson, P. 2010. *Proposed EQS for Water Framework Directive Annex VIII Substances : manganese (bioavailable) (for consultation)*. (WFD-UKTAG) Water Framework Directive-United Kingdom Technical Advisory Group. Edinburg.
- PHS (Public Health Services). 2004. *Toxicological Profile for Cobalt*. US Departement of Health and Human Services Agency for Toxic Substances and Diseases Registry.
- Rahman, A. 2005. Kandungan Logam Tembaga (Cu) pada karang tipe branching di perairan kepulauan Krakatau. *Jurnal Bioscientiae*. Vol. 2. No. 2. 11-16.
- Rahmawitri, H., A.S Atmadipoera., S.S Sukoraharjo. 2016. Pola Sirkulasi dan Variabilitas Arus di Perairan Selat Sunda. *Jurnal Kelautan Nasional*. Vol.11 No. 3 : 141-157.
- Reichelt, A.J., P.L Harrison. 1999. The effect of copper, zinc and cadmium on fertilization succes of gametes from sclerectinian reef corals. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 38. Issue 3. 182- 187.
- Rodriguez, I B., S Lin., J Ho., dan T Ho. 2016. Effect of trace metal concentration on the growth of the coral edosymbiont *Symbiodinium kawagutii*. *Front Microbiology* 7 : 82.
- Rousan, S. A., R N Al-Shloul., F A. Al-horani, Ahmad H. Abu-Hilal. 2007. Heavy metal in growth bands of *Porites* corals : record of antropogenic and human developments from the jordanian gulf of aqaba. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 54 No. 12
- Secot. 2004. Coastal Water Quality Standar for Coral Conservation. www.secot.co.th/secot/standar.htm. (20 Sept 2017)
- Self, S., dan M. Rampino R., 1981. The 1883 Eruption of Krakatau. *Jurnal Nature*. vol 292. No. 24. 699-704.
- Simkin, T., Fiske, R.S.,. 1983. *Krakatau 1883, the volcanic eruption and its effects*. Smithsonian Institution Press. Washington D.C.
- Soemirat, J. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada Press.

- Sofyan, R. 2007. *Pengaruh Variabilitas Biologi Terhadap Penentuan Unsur Runutan Dalam Sains Biomedik*. BATAN. Bandung.
- Soon, W., dan S. Baliunas. 2003. Proxy Climate and Enviromental Changes of The Past 1000 Years. *Journal Climate Research*. Vol. 23 : 89-110.
- Starger, C.J., Barber, P.H., Ambariyanto., *et al.* 2010. The recovery of coral genetic diversity in the sunda strait following the 1883 eruption of krakatau. *Journal of coral reef*. Vol. 29. No. 3 547-565.
- Stehn, C. 1929. The Geology and Volcanism of The Karakatau Group. *Proc. 4th pac. Sci. Cong.*, p 1- 55.
- Suharsono. 1996. *Jenis-Jenis Karang yang Umum di Jumpai di Perairan Indonesia*. LIPI. Jakarta.
- Suharsono. 2008. *Jenis –Jenis Karang di Indonesia*. Coremap-LIPI. Jakarta.
- Supriyantini, E., dan Endrawati, H. 2015. Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*. Vol 18(1) : 38-45.
- Suryani, A S. 2014. Dampak Negatif Abu Vulkanik Terhadap Lingkungan dan Kesehatan. *P3DI (Pusat Pengkajian, Pengolahan Data dan Informasi)*. Vol. 06. No. 04.
- Susiati, H., Yarianto SBS, A. Arman L, dan Y. Menri. 2010. Kandungan Logam Berat (Cu, Cr, Zn, dan Fe) Pada Terumbu Karang di Perairan Pulau Panjang Jepara. Puslitbang Energi Nuklir, BATAN. Bandung.
- Sutawidjaja, dan I Supriatman. 2006. Pertumbuhan gunung api anak krakatau setelah letusan katastrofis 1883. *Jurnal Geologi Indonesia*. Vol 1 : No. 3. 143-153.
- Suwa, R., Kataoka, C., dan Kashiwada, S. 2014. Effect of Silver Nanocolloids on Early Life Stage of The Sclerectinian coral *Acropora japonica*. *Marine Environmental Research*. Vol. 99 :198-203.
- Tarigan, Z., Edward., dan A. Rozak. 2003. Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni dalam Air Laut dan Sedimen di Muara Sungai Membramo, Papua dalam Kaitannya dengan Kepentingan Budaya perikanan. *Jurnal Makara SAINS*. Vol 7. No. 3.
- Timotius, S. 2003. *Biologi Terumbu Karang*. Makalah Training Course : Karakteristik Terumbu Karang. Yayasan Terumbu Karang Indonesia.

- UK Marine. 2017. Toxic Substance Profile : Nickle. UK Marine SAC Project. Diakses pada 2 desember 2017. www.ukmarinesac.org.uk/activities/water-quality/.htm.
- Veron, J. E. N. 1986. *Coral Of The World*. Smith, Mary S (Ed). Australian Institute of Marine Science. Townsville.
- Veron, J.E.N. 1993. *Corals of Australia and Indo-Pasific*. University Hawaii press. Honolulu.
- Wahyuni, E. T., S. Triyono., dan Suherman. 2012. Penentuan Komposisi Kimia Abu Vulkanik dari Erupsi Gunung Merapi. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. Vol. 19. No. 2. 150-159
- Warren, R., P. Baea., J. Albert. 2011. *Solomond Island Aquarium Farming Hard and Soft Coral Identification Guide*. CRISP Coordinating Unit (CCU) – World Fish Center. New Caledonia.
- Wells, J.W. 1956. *Sclerectinia, Treatise on Invertebrate Paleontology Coelenterata*. R.C, Moore (ed). Geological Society of America and University of Kansas Press. Lawrence.
- WQA (Water Quality Association). 2015. Cadmium. www.wqa.org. (2 Des 2017)
- Yuliananingrum, T.L.P dan Putri, M.R. 2012. Kondisi Oseanografi di Selat Sunda dan Selatan Jawa Barat pada Monsun Barat 2012. Program Study Oseanografi FITK ITB. Bandung.