

**IDENTIFIKASI FORAMINIFERA DAN ANALISIS KANDUNGAN LOGAM
BERAT PADA SEDIMEN LAUT DAN FORAMINIFERA BENTIK
DI PERAIRAN CAGAR ALAM LAUT KRAKATAU
PROVINSI LAMPUNG DENGAN
MENGUNAKAN ICP-OES**

(Skripsi)

Oleh

NABIILAH IFFATUL HANUUN



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

ABSTRAK

IDENTIFIKASI FORAMINIFERA DAN ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA SEDIMEN LAUT DAN FORAMINIFERA BENTIK DI PERAIRAN CAGAR ALAM LAUT KRAKATAU PROVINSI LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN ICP-OES

Oleh

Nabilah Iffatul Hanuun

Aktivitas vulkanik Gunung Anak Krakatau dan buangan limbah dari berbagai aktivitas manusia, seperti transportasi laut, industri, dan rumah tangga yang berumara ke lautan dapat menghasilkan material logam berat. Sifat logam berat yang mudah mengikat bahan organik, sulit didegradasi, dan mengendap di dasar perairan dapat mencemari perairan CAL Krakatau. Oleh karena itu, sedimentasi logam berat dapat membahayakan organisme bentik, seperti foraminifera bentik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui jenis-jenis foraminifera, mengetahui kandungan logam berat pada sedimen laut dan foraminifera bentik, dan mengetahui kondisi lingkungan di perairan Cagar Alam Laut Krakatau. Penelitian ini dilakukan dari bulan April hingga selesai. Tahap awal dilakukan proses identifikasi foraminifera. Selanjutnya, dilakukan analisis kandungan logam berat menggunakan alat ICP-OES. Analisis data dilakukan secara deskriptif.

Berdasarkan hasil identifikasi foraminifera di perairan CAL Krakatau pada kedalaman 5 meter, ditemukan 38 jenis foraminifera yang termasuk ke dalam 6 ordo, 15 famili, dan 22 genera. Foraminifera tersebut terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 36 jenis foraminifera bentik dan 2 jenis foraminifera planktonik. Hasil analisis kandungan logam berat dalam sedimen laut menunjukkan bahwa kandungan logam Ni, Cd, Cr, Zn, Co, Mn, Ag, Fe, dan Pb masih di bawah standar baku mutu. Sementara kandungan logam Fe, Mn, dan Pb dalam beberapa sampel foraminifera bentik sudah melebihi standar baku mutu air laut. Dari hasil penelitian yang diperoleh dapat diketahui bahwa perairan CAL Krakatau masih tergolong baik menurut KEPMENLH 2004.

Kata kunci: CAL Krakatau, logam berat, foraminifera, sedimen, ICP-OES.

**IDENTIFIKASI FORAMINIFERA DAN ANALISIS KANDUNGAN LOGAM
BERAT PADA SEDIMEN LAUT DAN FORAMINIFERA BENTIK
DI PERAIRAN CAGAR ALAM LAUT KRAKATAU
PROVINSI LAMPUNG DENGAN
MENGUNAKAN ICP-OES**

Oleh

NABIILAH IFFATUL HANUUN

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

**: IDENTIFIKASI FORAMINIFERA
DAN ANALISIS KANDUNGAN
LOGAM BERAT PADA SEDIMEN LAUT
DAN FORAMINIFERA BENTIK DI
PERAIRAN CAGAR ALAM LAUT
KRAKATAU PROVINSI LAMPUNG
DENGAN MENGGUNAKAN ICP-OES**

Nama Mahasiswa

: Nabiilah Iffatul Hanuun

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1417021077

Program Studi

: Biologi

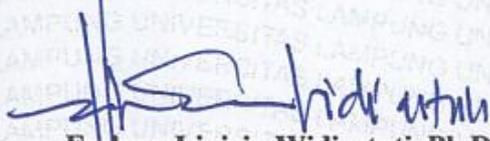
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

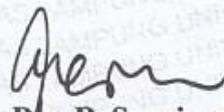
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



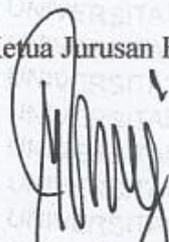
Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.
NIP.19610611 198603 2 001

Pembimbing II



Drs. R. Supriyanto, M.Si.
19581111 199003 1 001

2. Ketua Jurusan Biologi



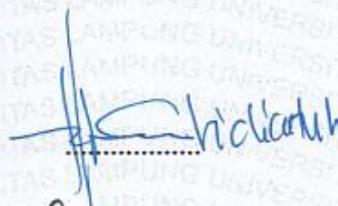
Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.
NIP 19660305 199103 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

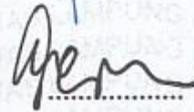
Ketua

: Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.



Sekretaris

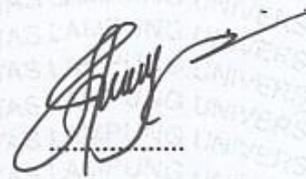
: Drs. R. Supriyanto, M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Henni Wijayanti M., S.Pi., 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 Jakarta pada tanggal 30 September 1997. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara pasangan Bapak Tohir dan Ibu Susi Indahwati.

Penulis mulai menempuh pendidikan pertamanya di TKIT Al Manar pada tahun 2001. Kemudian penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDIT Al Manar Jakarta Timur pada tahun 2009 dan pendidikan menengah pertama ditempuh penulis di SMPIT Al Multazam Kuningan Jawa Barat pada tahun 2012 dan pendidikan menengah atas penulis tempuh di SMAIT Al Mulatazam, lulus pada tahun 2014.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada tahun 2014 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Pada Januari 2017, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik Universitas Lampung di Desa Sendang Rejo, Kecamatan Sendang Agung, Kabupaten Lampung Tengah. Kemudian pada Juli - Agustus 2017, penulis melaksanakan kegiatan Kerja Praktik (KP) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung, Jawa Barat.

Penulis terdaftar sebagai asisten dosen untuk mata kuliah Biosistemika Tumbuhan pada semester ganjil tahun 2016. Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Biologi sebagai anggota Bidang Sains dan Teknologi periode 2016 – 2017, organisasi Rohani Islam FMIPA Universitas Lampung sebagai anggota Bidang khusus Bimbingan Baca Quran periode 2015 - 2016, organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Pengembangan Sains dan Lingkungan Hidup periode 2015 - 2016 dan anggota Departemen Komunikasi dan Informasi periode 2016 - 2017. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi Paguyuban Karya Salemba Empat Universitas Lampung sebagai anggota Divisi Pengabdian Masyarakat periode 2016 – 2017.

MOTTO

“Bacalah dengan menyebut nama Tuhan Mu. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah dan Tuhan Mu lah Yang Maha Mulia. Yang mengajarkan (manusia) dengan pena. Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya.”

(Q.S. Al Alaq: 1 - 5)

“Bersyukurlah kepada Allah. Dan barang siapa yang bersyukur (kepada Allah), maka sesungguhnya ia bersyukur untuk dirinya sendiri; dan barang siapa yang tidak bersyukur, maka sesungguhnya Allah Maha Kaya lagi Maha Terpuji”

(Q.S. Lukman: 12)

PERSEMBAHAN

الرَّحِيمِ

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan Rahmat, Ridho, dan Karunia-Nya yang tak henti-hentinya Dia berikan,

Kupersembahkan karya kecilku ini kepada :

Kedua orang tuaku tercinta
Bapak Tohir dan Ibu Susi Indahwati,
yang senantiasa menyebut namaku dalam do'a, mencurahkan kasih sayangnya, serta selalu mendukung dan menasihati dalam setiap proses yang aku jalani.

Kakak dan adik-adikku tersayang,
Alizza Naufal Afifi, Yumnaa Maulidyah Hanuun, dan Muhammad Abyan Wafii,
yang selalu memberikan canda tawa, dukungan, dan semangat.

Seluruh keluarga besarku, atas doa yang selalu terucap untuk kesuksesanku dan semua pengorbanan yang telah mereka berikan kepadaku selama ini.

Bapak dan Ibu Dosen yang sabar membimbing dan mengajarkanku dan membantuku untuk memahami akan kebesaran Allah SWT, serta membantuku dalam menggapai kesuksesanku.

Teman-teman, kakak-kakak, dan adik-adik yang selalu memberiku pengalaman berharga, motivasi, dan semangat,

serta Almamaterku tercinta,
Universitas Lampung
atas semua kenangan dan pengalaman manis yang kudapatkan.

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 **“IDENTIFIKASI FORAMINIFERA DAN ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA SEDIMEN LAUT DAN FORAMINIFERA BENTIK DI PERAIRAN CAGAR ALAM LAUT 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 dosen Pembimbing Akademik dan 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 Henni Wijayanti M., S.Pi., M.Si., selaku Pembahas atas semua ilmu, bantuan, bimbingan, nasihat, saran dan pengarahan, baik selama perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi.
4. Ibu Dra. Kresna Tri Dewi, M.Sc., selaku Pembimbing Kerja Praktik atas izin, pengarahan, kesabaran, saran dan bimbingan selama tahap pelaksanaan penelitian di P3GL.
5. Bapak Ir. Yusuf Adam Priohandono, M.Sc., atas bimbingan dan kesabaran dalam proses pembuatan peta lokasi pengambilan sampel.
6. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P., selaku Rektor Universitas Lampung.
7. Bapak Warsono, Ph.D., selaku Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung.
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. Seluruh staf Balai Konservasi Sumber Daya Alam Lampung, atas bimbingan, bantuan, dukung, dan kerjasamanya selama proses penelitian ini berlangsung.
11. Ibu Dr. Emantis Rosa, M. Biomed., selaku Kepala Laboratorium Biologi Molekuler yang telah mengizinkan dan membantu penulis melaksanakan penelitian.
12. Mbak Nunung Cahyawati, A.Md., selaku Laboran Laboratorium Biomolekuler dan kakak Rezky Pratama, S.Si. yang telah membantu penulis melakukan penelitian.

13. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung, terima kasih telah banyak memberikan ilmu pengetahuan selama perkuliahan.
14. Kakak Kadek Wisne dan Muchlis Aditya, Gita Pupitasarii, dan M. Huisen Ferdiansyah, atas segala bantuan yang diberikan kepada penulis selama tahap pengambilan sampel.
15. Rekan-rekan perjuangan, Eka Prasetiawati, S.Si., Intan Aghniya Safitri, S.Si., Vielda Rahmah Afriyanti, S.Si., dan Irani Maya Safira, S.Si., atas bantuan, kebersamaan, dan kerjasamanya selama penelitian berlangsung.
16. Sahabat sekaligus saudara, Eka, Vielda, Intan, Irani, Hona Anjelina, dan Retno Wulantari atas perhatian, dukungan, semangat, dan canda tawa yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun ini.
17. Sahabat kecil sekaligus saudara terdekat, Ismi Rahma Putri, Hanifah, dan Yadha Mega Lucyta atas doa, semangat, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
18. Teman-teman, M. Ma'ruf Firdaus, S.P., Novi Anggraini, S.P., dan Intan Nurul Faizah atas semangat, dukungan, dan kenangan manis yang diberikan kepada penulis selama ini
19. Teman-teman tercinta dari keluarga Mahasiswa Penghafal Quran (MPQ) Universitas Lampung, atas semua semangat, dukungan, canda tawa, hiburan, dan energi positif yang diberikan kepada penulis selama ini.
20. Teman-teman terkasih dari paguyuban KSE Unila, atas semua canda tawa, pengalaman, dukungan, dan semangat selama penulis berkuliah di Universitas Lampung.

21. Teman-teman Kominfo BEM FMIPA Unila, atas semua dukungan dan semangat yang diberikan selama ini.
22. Teman-teman Biologi Angkatan 2014 atas keakraban, canda tawa, dukungan, dan kebersamannya yang telah diberikan selama ini.
23. Seluruh kakak dan adik tingkat Jurusan Biologi FMIPA Unila yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas kebersamannya di FMIPA, Universitas Lampung.
24. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan dukungan, kritik dan saran.
25. 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,

Nabilah Iffatul Hanuun

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. Sedimen	7
B. Foraminifera	9
1. Taksonomi	9
2. Morfologi	10
a. Komposisi Dinding	11
b. Cangkang (<i>Test</i>)	13
c. Kamar	14
d. Apertura	16
e. Ornamentasi	16
f. Septa dan Sutura	17
3. Faktor Ekologi	17
4. Peranan	17

C. Pencemaran	18
D. Logam Berat	19
1. Definisi dan Jenis	19
2. Karakteristik Unsur	21
a. Timbal (Pb)	21
b. Nikel (Ni)	22
c. Kadmium (Cd)	22
d. Kromium (Cr)	23
e. Besi (Fe)	24
f. Mangan (Mn)	24
g. Seng (Zn)	25
h. Kobalt (Co)	25
i. Perak (Ag)	26
E. Kepulauan Krakatau	27
1. Cagar Alam Laut Krakatau	27
2. Gunung Api Anak Krakatau	27
F. ICP-OES	28

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat	31
B. Alat dan Bahan	31
C. Metode Penelitian	33
D. Pelaksanaan	33
1. Studi Pustaka	33
2. Pengambilan Sampel	34
3. Pengukuran Parameter Lingkungan	35
4. Preparasi Sampel Foraminifera Bentik	35
5. Penjentikan	36
6. Koleksi	36
7. Identifikasi dan Perhitungan Jumlah Individu	37
8. Dokumentasi	37
9. Destruksi Sampel	37
10. Analisis Logam Berat	38
E. Parameter Penelitian	38
F. Analisis Data	38
G. Diagram Alir	39

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Jenis Foraminifera di Perairan CAL Krakatau	40
B. Kandungan Logam Berat	46
1. Sedimen Laut	48
2. Foraminifera Bentik	52
C. Kondisi Perairan CAL Krakatau	59

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	66
B. Saran	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran A - D	75
----------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Sedimen Menurut Skala Uden dan Wenworth	8
2. Hasil Identifikasi Foraminifera di perairan CAL Krakatau	41
3. Nilai Kandungan Logam Berat dalam Sedimen laut dan Foraminifera Bentik di Perairan CAL Krakatau	47
4. Parameter Lingkungan CAL Krakatau	60
5. Baku Mutu Sedimen dan Air Laut	75
6. Baku Mutu Sedimen 2	75
7. Alat dan Bahan	76
8. Prosedur Penelitian	80
9. Koleksi Foraminifera	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Subordo Foraminifera	10
2. Evolusi Cangkang Foraminifera	13
3. Jumlah dan Susunan Kamar Foraminifera	15
4. Komponen Utama dan Susunan Instrumen ICP-OES	28
5. Penampang <i>torch</i> dan <i>load coil</i> ICP-OES	29
6. Peta Lokasi Pengambilan Sampel	34
7. Diagram Alir Penelitian	39
8. Sedimen Pulau Anak Krakatau	51
9. Mikroskop binokuler OLYMPUS SX9	76
10. Mikroskop binokuler SMZ 1500 terhubung dengan komputer dan kamera	76
11. <i>Ashray tray</i>	76
12. Kuas kecil	76
13. Kuas besar	77
14. <i>Assemblage slide</i>	77
15. Lem <i>tracgranth</i>	77
16. Air	77
17. Buku acuan identifikasi foraminifera	77
18. Wadah pengayak sampel dan botol	77

19.	Plastik <i>ziplock</i> dan alat tulis	78
20.	GPS	78
21.	Penaburan sedimen diatas <i>ashray tray</i>	78
22.	Spesimen hasil penjentikan	78
23.	Asam nitrat	78
24.	Akuades	78
25.	ICP OES	79
26.	Refraktometer	79
27.	Termometer	79
28.	<i>Secchi disk</i>	79
29.	Destuktor Behr 30	79
30.	Penjentikan	80
31.	Destruksi sampel	80
32.	<i>Amphistegina papillosa</i>	81
33.	<i>Amphistegina radiata</i>	81
34.	<i>Amphistegina lessonii</i>	81
35.	<i>Elphidium crispum</i>	81
36.	<i>Elphidium depressulum</i>	81
37.	<i>Operculina granulosa</i>	81
38.	<i>Assilina ammonoides</i>	81
39.	<i>Discorbinella montereyensis</i>	81
40.	<i>Eponides</i> sp.	81
41.	<i>Peneroplis pertusus</i>	82
42.	<i>Calcarina calcar</i>	82

43.	<i>Pararotalia</i> sp.	82
44.	<i>Calcarina</i> sp.	82
45.	<i>Spiroloculina manifesta</i>	82
46.	<i>Quinqueloculina seminulum</i>	82
47.	<i>Quinqueloculina phillippinensis</i>	82
48.	<i>Miliolinella australis</i>	82
49.	<i>Lachnella parkeri</i>	82
50.	<i>Pygro denticulata</i>	82
51.	<i>Miliolinella</i> sp.	82
52.	<i>Siphogerina striatulata</i>	82
53.	<i>Marginulinopsis</i> sp.	83
54.	<i>Lagena spicata</i>	83
55.	<i>Globigerinoides trilobus</i>	83
56.	<i>Globigerinella siphonifera</i>	83

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia menjadi salah satu negara dengan ekosistem laut yang kaya akan sumber daya alam hayati, non hayati, dan energi. Hal tersebut didukung oleh letak geografis Indonesia yang diapit oleh dua benua dan dua samudera. Wilayah pesisirnya membentang sepanjang 91 ribu kilometer dari Sabang hingga Merauke, yang merupakan terpanjang kedua di dunia setelah Kanada (Saad dkk, 2014).

Sebagai negara kepulauan yang memiliki lebih dari 17.504 pulau dengan luas wilayah perairan mencapai 2/3 total wilayahnya, maka perlu dilakukan upaya konservasi. Hal ini bertujuan untuk melestarikan sumber daya alam laut Indonesia. Salah satu upaya konservasi yang dilakukan pemerintah adalah penetapan kawasan Cagar Alam Laut (CAL).

Salah satu kawasan CAL di Indonesia adalah Kepulauan Krakatau.

Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan No. 85/Kpts-II/1990 tanggal 26 Februari 1990, secara khusus Cagar Alam Kepulauan Krakatau direvisi dan ditetapkan sebagai kawasan Cagar Alam (CA) dan Cagar Alam Laut (CAL). Kepulauan Krakatau terdiri dari Pulau Sertung, Pulau Panjang, Pulau Rakata, dan Pulau Anak Krakatau. Selain itu, di Kepulauan Krakatau

juga terdapat satu gunung berapi yang masih aktif, yaitu Gunung Anak Krakatau. Gugusan pulau dan Gunung Anak Krakatau berada di tiga *vulcanic fracture region*, yaitu Sumatera, Selat Sunda, dan Jawa yang memiliki keunikan geologis dan ekologis (BKSDA, 2015).

Kompleks gunung Anak Krakatau terletak di bidang pertemuan antara lempeng tektonik Eurasia dan Indonesia – Australia di Selat Sunda. Menurut Badan Geologi (2014), letak geografis gunung Anak Krakatau adalah 6°05,8" LS dan 105°25'22,3" BT. Hingga saat ini tercatat ketinggian gunung Anak Krakatau mencapai ± 305 mdpl.

Badan Geologi (2015) menjelaskan bahwa gunung Anak Krakatau merupakan salah satu gunung api aktif. Sejak pemunculannya tanggal 11 Juni 1927 hingga 2011, gunung Anak Krakatau telah mengalami lebih dari 100 kali erupsi baik secara eksplosif maupun erusif. Aktivitas erupsi mengeluarkan material vulkanis yang tersebar di sekitar pulau Anak Krakatau pada radius sekitar 500 - 1500 m.

Abu vulkanik yang dihasilkan dari aktivitas Gunung Anak Krakatau mengandung berbagai macam material salah satunya logam berat. Logam berat dapat menjadi suatu bahan pencemar dalam suatu lingkungan. Menurut hasil penelitian Wahyuni dkk (2012), terdapat berbagai macam unsur logam yang terkandung dalam abu vulkanik. Unsur-unsur tersebut dapat dikelompokkan menjadi unsur logam mayor dan unsur logam minor. Unsur logam mayor terdiri dari besi, aluminium, dan mangan. Sedangkan unsur logam minor terdiri dari kobalt, tembaga, timbal, barium, seng, dan selenium.

Aktivitas vulkanik dan letak Kepulauan Krakatau yang termasuk ke dalam jalur transportasi laut dapat memungkinkan terjadinya pencemaran pada perairan. Selain itu, buangan dari berbagai limbah industri yang bermuara ke lautan dapat meningkatkan potensi pencemaran. Bahan pencemar yang dihasilkan dari aktivitas ini adalah logam berat (Palar, 1994).

Sifat logam berat yang tidak dapat dihancurkan oleh organisme hidup dan mengendap di dasar perairan menjadi penyebab utama logam berat tergolong sebagai bahan pencemar berbahaya (Ridhowati, 2013). Logam berat umumnya bersifat racun, walaupun beberapa diantaranya dibutuhkan dalam jumlah kecil. Secara alami, perairan mengandung logam berat dalam kadar yang sangat kecil (Palar, 1994).

Logam berat yang terdapat di kolom perairan dan mengendap di sedimen sangat berbahaya bagi biota laut. Peluang terpaparnya biota yang hidup dan mencari makan di dasar perairan menjadi lebih tinggi akibat akumulasi logam berat dalam sedimen laut. Salah satunya adalah foraminifera.

Foraminifera menjadi salah satu komponen meiofauna dari komunitas perairan yang berperan sebagai produsen kalsium karbonat (CaCO_3) dalam sedimen laut (Pringgoprawiro dan Kapid, 2000). Foraminifera dapat dijadikan sebagai objek penelitian yang sangat potensial. Kelimpahan yang tinggi, kebutuhan kualitas air yang sama dengan berbagai biota pembentuk terumbu karang, siklus hidup yang cukup singkat, serta kandungan zat-zat kimia dari cangkang foraminifera dapat mencerminkan perubahan lingkungan perairan yang terjadi dalam waktu singkat (Wetmore, 2000).

Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa pencemaran tidak dapat dihindari pada suatu lingkungan perairan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai keanekaragaman salah satu biota laut dan kandungan logam berat dalam sedimen dan organisme bentik serta pengamatan beberapa parameter lingkungan, seperti suhu, salinitas, dan pH di perairan CAL Krakatau. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan perairan CAL Krakatau.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa keragaman foraminifera yang ditemukan di perairan CAL Krakatau ?
2. Berapa besar konsentrasi logam berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Besi (Fe), Mangan (Mg), Perak (Ag), Seng (Zn), Kromium (Cr), Kobalt (Co), dan Kadmium (Cd) dalam sedimen laut dan foraminifera bentik di perairan CAL Krakatau ?
3. Bagaimana kondisi lingkungan di perairan CAL Krakatau ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui keragaman foraminifera di perairan CAL Krakatau.
2. Mengetahui konsentrasi logam berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Besi (Fe), Mangan (Mg), Perak (Ag), Seng (Zn), Kromium (Cr), Kobalt (Co), dan

Kadmium (Cd) dalam sedimen laut dan foraminifera bentik di perairan CAL Krakatau.

3. Mengetahui kondisi lingkungan di perairan CAL Krakatau.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai kandungan logam berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Besi (Fe), Mangan (Mg), Perak (Ag), Seng (Zn), Kromium (Cr), Kobalt (Co), dan Kadmium (Cd) dalam sedimen laut dan foraminifera bentik di perairan CAL Krakatau Provinsi Lampung serta kemungkinan dampak yang ditimbulkannya. Dengan demikian dapat diketahui kondisi lingkungan perairan. Hasil penelitian yang diperoleh dapat berguna sebagai informasi ilmiah bagi pelajar, mahasiswa, masyarakat, pemerintah, dan instansi yang bergerak dalam bidang konservasi sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan langkah-langkah konservasi CAL Krakatau Provinsi Lampung.

E. Kerangka Pikir

Suatu lingkungan hidup tidak dapat terhindar dari proses pencemaran. Menurut Undang-Undang No. 23 tahun 1997 pencemaran adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan oleh kegiatan manusia, sehingga kualitasnya turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Salah satu lingkungan perairan yang termasuk dalam

kawasan konservasi Cagar Alam Laut adalah Kepulauan Krakatau. Secara administratif, Kepulauan Krakatau terletak di Selat Sunda, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

Material yang dihasilkan dari aktivitas vulkanik gunung Anak Krakatau dan buangan limbah berbagai macam aktivitas manusia dapat menyebabkan pencemaran. Salah satu bahan pencemarnya berupa logam berat. Akumulasi logam berat akan semakin tinggi sesuai dengan tingkatan trofik dalam rantai makanan. Sifat logam berat yang sulit didegradasi dan mengendap di dasar perairan menyebabkan sedimentasi logam berat akan membahayakan organisme yang hidup menempel pada substrat berupa sedimen di dasar perairan, yaitu foraminifera.

Foraminifera sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Dengan mengetahui keanekaragaman jenis foraminifera dan kandungan logam berat dalam sedimen laut dan foraminifera bentik diharapkan dapat diketahui kondisi lingkungan perairan di Kepulauan Krakatau. Hasil penelitian tersebut dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam upaya konservasi untuk memantau dan melestarikan kehidupan yang berlangsung di dalam perairan CAL Krakatau.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sedimen

Menurut Rifardi (2012), kata sedimen menunjukkan pada suatu lapisan kerak bumi yang mengalami proses transportasi. Berasal dari bahasa Latin, yaitu *sedimentum* yang berarti pengendapan. Sedimen laut berasal dari berbagai sumber yang merupakan hasil aktivitas biologi, kimia, dan fisika yang terjadi di daratan maupun di lautan itu sendiri.

Hutabarat dan Evans (2014) menjelaskan berdasarkan asalnya sedimen dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Sedimen *Lithogenous*

Merupakan sedimen yang terbentuk akibat kondisi fisik ekstrem yang mengakibatkan pengikisan bebatuan di daratan.

2. Sedimen *Biogenous*

Merupakan sedimen yang terbentuk dari sisa-sisa organisme mati lalu membentuk endapan partikel-partikel halus bernama *ooze* dan mengendap pada daerah yang letaknya jauh dari pantai.

3. Sedimen *Hydrogenous*

Merupakan sedimen yang terbentuk dari hasil reaksi kimia dalam air laut yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang.

4. Sedimen *Cosmogeros*

Merupakan sedimen yang terbentuk dari berbagai sumber yang masuk ke dalam laut melalui media udara atau angin. Sedimen ini dapat berasal dari luar angkasa berupa sisa-sisa meteorik yang meledak di atmosfer dan jatuh ke bumi, aktivitas gunung api, atau berbagai partikel darat yang terbawa angin.

Rifardi (2012) menjelaskan terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tipe sedimen laut, diantaranya perubahan cekungan laut (topografi dasar laut), arus, dan iklim. Menurut Hutabarat dan Evans (2014), sedimen yang terdapat di berbagai lautan di dunia memiliki sifat yang berbeda bergantung dari bahan pembentuknya dan ukuran (Tabel 1).

Tabel 1. Klasifikasi Sedimen menurut Skala Uden dan Wentworth

	NAMA PARTIKEL	PARTIKEL (mm)
Kerikil (<i>gravel</i>)	<i>Boulders</i> (Batu besar)	>256
	<i>Cobbles</i> (Bongkah)	64-256
	<i>Pebbles</i> (Kerikil)	4-64
	<i>Granules</i> (Butir)	2-4
Pasir (<i>Sand</i>)	<i>Very coarse sand</i> (Sangat kasar)	1-2
	<i>Coarse sand</i> (Kasar)	0,5-1
	<i>Medium sand</i> (Sedang)	0,25-0,5
	<i>Fine sand</i> (Halus)	0,125-0,25
	<i>Very fine sand</i> (Sangat halus)	0,0625-0,125
Lanau (<i>Silt</i>)		0,004-0,625 (1/256-1/16)
Lempung (<i>Clay</i>)		<0,004 (<1/256)

Karakteristik dan ukuran sedimen baik struktur maupun tekstur yang tergambar dalam lapisan sedimen menunjukkan sebagian perubahan yang terjadi di atasnya. Satu atau beberapa jenis partikel cenderung mendominasi suatu sedimen dari lautan tertentu. Beberapa hasil penelitian mengenai

sedimen dapat menggambarkan suatu kondisi lingkungan yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia dan alam yang terjadi dalam periode pengendapan. Aktivitas alam dan manusia dapat mempengaruhi pola dan karakteristik sedimen. Sebagai contoh gempa bumi dahsyat berkekuatan 9,15 - 9,30 SR pada 26 Desember 2004 yang diikuti dengan gelombang tsunami mengubah struktur dan tekstur sedimen pada daerah yang mengalami fenomena alam tersebut (Rifardi, 2012).

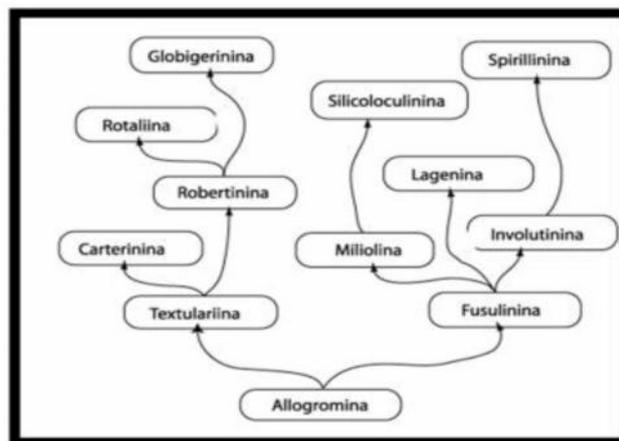
Menurut Nammiinga dan Wilhm (1977), umumnya sedimen laut mengandung logam berat dalam kadar rendah pada musim kemarau dan tinggi pada musim penghujan. Laju erosi pada permukaan tanah menuju badan sungai menyebabkan sedimen yang mengandung logam berat akan terbawa oleh arus yang bermuara di lautan. Sedimentasi menyebabkan tingginya kadar logam berat dalam sedimen pada musim penghujan.

B. Foraminifera

1. Taksonomi

Menurut Campbell dkk (2008), foraminifera berasal dari bahasa Latin, yaitu *foramen* yang berarti lubang kecil dan *ferre* yang berarti mengangkut. Mikroorganisme ini termasuk ke dalam kelompok meiofauna yang hidup di perairan laut dan sebagian kecil di perairan payau. Menurut Gupta (1999), berdasarkan hasil kompilasi foraminifera diklasifikasikan ke dalam kingdom Protocista, Filum Granuloreticulosa, dan Kelas Foraminifera.

Foraminifera merupakan mikroorganisme eukariotik uniseluler yang memiliki ciri *granular reticulopods pseudopodia* (kaki semu) dan bagian luar tubuhnya tertutupi oleh cangkang. Gupta (1999) menjelaskan bahwa foraminifera terdiri atas 16 ordo, yaitu Allogromiida, Astorrhizida, Lituolida, Trochamminida, Textulariida, Fusulinida, Milioliida, Carteriniida, Spirillinida, Lagenida, Buliminida, Toraliida, Globigerinida, Involutinida, Robertiida, dan Silicoloculinida. Loeblich dan Tappan (1964) membagi foraminifera menjadi 12 subordo (Gambar 1) dan lebih dari 60000 spesies telah teridentifikasi sejak \pm 542 juta tahun lalu hingga sekarang.



Gambar 1. Subordo Foraminifera
(Gupta, 1999)

2. Morfologi

Foraminifera memiliki ukuran tubuh berkisar antara 0,1 mm hingga 2 cm. Beberapa jenis foraminifera, tubuhnya tidak hanya tersusun oleh satu sel saja, melainkan juga didukung oleh material organik (Boersma, 1978).

Struktur tubuh foraminifera terbagi menjadi dua lapisan, yaitu ektoplasma dan endoplasma. Ektoplasma merupakan lapisan luar yang terdapat *pseudopodia* (kaki semu) digunakan sebagai alat gerak. Sedangkan endoplasma merupakan lapisan dalam yang berisi sitoplasma (Boltovskoy dan Wright, 1976).

Dalam analisis mikrofosil, determinasi foraminifera dapat dilakukan dengan melihat kenampakan morfologinya, yaitu komposisi dinding, cangkang, jumlah dan susunan kamar, aperture, ornamentasi, serta septa dan sutura.

a. Komposisi Dinding

Dinding foraminifera tersusun atas zat penyusun dan struktur beragam yang berfungsi untuk melindungi bagian dalam tubuh foraminifera. Menurut Pringgoprawiro dan Kapid (2000), terdapat empat jenis komposisi dinding foraminifera, yaitu :

1) Dinding Kitin

Merupakan jenis dinding foraminifera paling primitif. Bahan utama dari dinding ini berupa zat tanduk dengan sifat fleksibel, transparan, tidak berpori, dan umumnya berwarna kuning. Jenis ini ditemukan dalam bentuk fosil, yaitu dari golongan Allogromidae.

2) Dinding Aglutinin (*Aranaceous*)

Merupakan jenis dinding yang tersusun dari material asing yang saling merekat satu sama lain. Material asing penyusun dinding aglutinin berupa material, seperti mika, *sponge-spikulae*, cangkang

organisme, dan lumpur. Contoh foraminifera berdinding aglutinin berasal dari golongan Globigerinidae. Sedangkan pada dinding *aranaceous* tersusun hanya dari butiran pasir.

3) Dinding Silika

Merupakan dinding yang tersusun dari material sekunder yang dihasilkan oleh organisme itu sendiri. Contoh foraminifera yang berdinding silika berasal dari golongan Ammodiscidae, Hyperramminidae, Silicimidae, dan beberapa jenis Miliolidae.

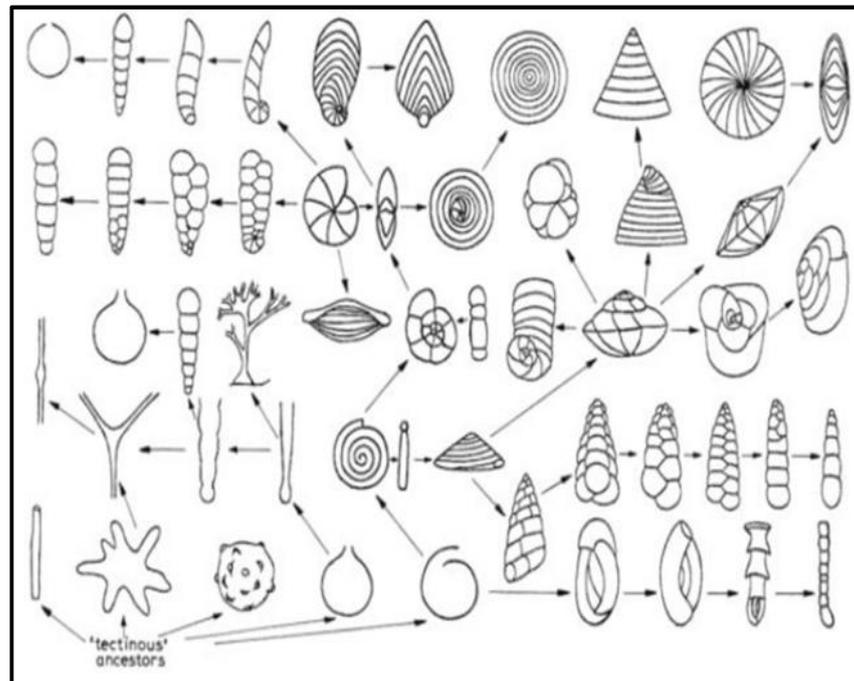
4) Dinding Gampingan

Merupakan dinding yang banyak dijumpai pada foraminifera. Bahan penyusun dinding ini adalah zat-zat gampingan. Terdapat empat macam dinding gampingan, yaitu :

- i. Gamping porselen, berupa dinding gampingan tidak berpori yang memiliki kenampakan luar seperti porselen. Dapat dijumpai pada golongan Peneroplidae.
- ii. Gamping bergranular, berupa dinding gampingan yang tersusun atas kristal-kristal granit bergranular tanpa disertai material asing. Dapat dijumpai pada beberapa spesies dari genera *Endothyra*, *Bradyna*, dan *Spirillina*.
- iii. Gamping kompleks, berupa dinding gampingan yang berlapis-lapis. Dapat dijumpai pada golongan Fussulinidae.
- iv. Gamping hialin, berupa dinding gampingan yang memiliki sifat bening, transparan, dan memiliki pori. Dapat ditemukan pada Nodosaridae, Globigerinidae, dan Cibicidae.

b. Cangkang (*Test*)

Bagian terpenting dari foraminifera adalah cangkang. Bahan penyusun cangkang foraminifera dapat berasal dari CaCO_3 yang dihasilkan oleh foraminifera itu sendiri atau dari partikel-partikel lain yang berasal dari lingkungannya. Cangkang foraminifera memiliki karakteristik tertentu yang dapat dijadikan sebagai kunci determinasi (Gambar 2) dan analisis foraminifera berdasarkan morfologi serta struktur dari cangkang tersebut (Boersma, 1978).



Gambar 2. Evolusi Cangkang Foraminifera
(Boersma, 1978)

Bagian utama dari cangkang adalah suatu rongga dikelilingi dinding yang merupakan tempat dari bagian lunak (sitoplasma). Cangkang pertama disebut *protoculus*. Foraminifera memiliki bentuk cangkang yang bervariasi mulai dari sederhana hingga kompleks. Perubahan

lingkungan dapat menyebabkan perubahan warna dan kerusakan pada cangkang foraminifera (Boltovskoy dan Wright, 1976).

c. Kamar

Kamar merupakan tempat protoplasma foraminifera (Gambar 3).

Bentuk dasar dari cangkang foraminifera berhubungan dengan jumlah dan susunan kamar. Berdasarkan jumlah dan susunan kamarnya, foraminifera dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1) *Monothalmus Test*

Merupakan cangkang foraminifera yang hanya terdiri atas satu kamar. Bentuk dari jenis cangkang ini antara lain bulat atau *globular* (pada genera *Saccamina* dan *Pilulina*), botol (pada genus *Lagena*), tabung (pada genera *Bathysiphon* dan *Hyperamminoides*), kombinasi antara tabung dan botol (pada genus *Entosolenia*), berputar pada satu bidang (pada genera *Cornuspira* dan *Ammodiscus*), planispiral pada awalnya kemudian terputar tidak teratur (pada genus *Psammaphis* dan spesies *Orthover tella*), dan planispiral kemudian lurus (pada genus *Rectocornuspira*).

2) *Polythalmus Test*

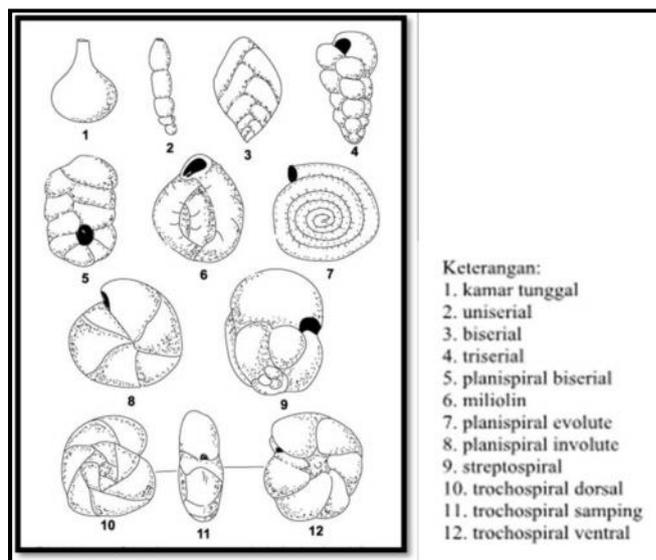
Merupakan cangkang foraminifera yang terdiri lebih dari satu kamar. Terdapat empat jenis kamar *polythalmus test*, yaitu :

i. *Uniformed test*, hanya terdiri dari satu jenis susunan kamar.

Terbagi menjadi tiga jenis, yaitu uniserial, biserial, dan triserial.

Dapat dijumpai pada genus *Lagena*.

- ii. *Biformed test*, terdiri atas dua jenis susunan kamar, misalnya *biserial* pada awalnya kemudian *uniserial*. Dapat dijumpai pada genera *Heterostomella* dan *Cribostomum*.
- iii. *Triformed test*, terdiri atas tiga susunan kamar. Dapat dijumpai pada genera *Vulvulina* dan *Semitextularia*.
- iv. *Multiformed test*, terdiri dari lebih dari tiga susunan kamar
- *Planispiral*, terdiri atas dua jenis, yaitu cangkang yang terputar dengan putaran akhir menutupi putaran sebelumnya sehingga hanya kamar terakhir yang terlihat (*evolute test*) dan cangkang yang terlihat semua kamarnya (*involute test*), contoh genus *Hastigerina*.
 - *Trochospiral* (*dekstral* dan *sinistral*), contoh *Globigerina*.
 - *Streptospiral*, yaitu *test* yang awalnya *trochospiral* kemudian menjadi *planispiral*. Contoh genus *Pulleniatina*.



Gambar 3. Jumlah dan Susunan Kamar Foraminifera
(Gupta, 1999)

d. Apertura

Merupakan lubang utama pada cangkang foraminifera yang berfungsi sebagai tempat keluarnya protoplasma, memasukkan makanan, dan perlindungan diri dari predator atau parasit. Foraminifera dapat memiliki satu atau lebih apertura. Oleh karena itu, apertura memegang peranan penting bagi foraminifera (Boltovskoy dan Wright, 1976).

Menurut kedudukannya pada cangkang, apertura dibedakan menjadi :

- 1) Terminal, terletak pada ujung kamar terakhir.
- 2) Subterminal, terletak pada ujung kamar terakhir maupun agak ke pinggir.
- 3) Lateral, terletak pada tepi cangkang.
- 4) Periferal, terletak pada bagian periferal.
- 5) Sutural, terletak di sepanjang garis sutura.
- 6) Interiomarginal, terbagi menjadi *extraumbilical* dan *umbilical*.

e. Ornamantasi

Merupakan struktur-struktur mikro yang menghiasi bentuk fisik cangkang foraminifera. Ornamantasi dapat digunakan sebagai salah satu kunci determinasi beberapa spesies foraminifera karena memiliki bentuk yang sangat khas. Pada beberapa spesies, ornamen akan muncul hingga spesies tersebut mencapai stadium dewasa (Boltovskoy dan Wright, 1976).

f. Septa dan Sutura

Septa merupakan bagian dari kamar berupa sekat-sekat yang berfungsi sebagai pemisah kamar. Sedangkan sutura merupakan sebuah bidang berupa garis halus yang tampak dari luar cangkang dan memisahkan dua kamar yang saling berdekatan. Beberapa sutura memiliki bentuk yang sangat khas sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu kunci determinasi (Boltovskoy dan Wright, 1976).

3. Faktor Ekologi

Keberlangsungan hidup dan persebaran foraminifera dipengaruhi oleh beberapa faktor ekologi baik biotik maupun abiotik, yaitu suhu, salinitas, derajat keasaman/pH, substrat, arus, nutrisi, kandungan oksigen, intensitas cahaya matahari, dan kandungan *trace elements* (Boltovskoy dan Wright, 1976). Kemampuan adaptasi sangat dibutuhkan oleh foraminifera agar dapat tetap bereproduksi dan bertahan di habitatnya, mulai dari perairan dangkal hingga laut dalam. Foraminifera dapat bersimbiosis dengan terumbu karang sehingga dapat ditemukan sangat berlimpah di lingkungan terumbu karang (Tomasick dkk, 1997).

4. Peranan

Keanekaragaman yang tinggi dan morfologi yang kompleks pada foraminifera menjadikannya sangat berperan dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan (Boltovskoy dan Wright, 1976). Salah satunya sebagai penentu suatu lingkungan di masa lalu, seperti penemuan garis pantai

kuno dan melacak perubahan suhu laut global sejak zaman es (Wetmore, 2000). Hal tersebut karena foraminifera tertentu membutuhkan kesamaan kualitas air dengan berbagai biota pembentuk terumbu karang, siklus hidupnya yang cukup singkat, serta kandungan zat-zat kimia dari cangkang foraminifera dapat mencerminkan perubahan lingkungan perairan yang terjadi dalam waktu singkat.

C. Pencemaran

Palar (1994) menjelaskan bahwa pencemaran atau polusi merupakan suatu bentuk perubahan dari kondisi awal menjadi lebih buruk. Pencemaran lingkungan disebabkan oleh bahan pencemar. Bahan pencemar dapat berasal dari aktivitas alam dan manusia. Contoh aktivitas alam berupa aktivitas gunung berapi (vulkanik) dan proses pengendapan. Sedangkan aktivitas manusia salah satunya adalah aktivitas industri yang akan menghasilkan limbah pertanian, perkebunan, dan pertambangan. Umumnya bahan pencemar bersifat toksik (beracun) yang membahayakan organisme hidup.

Menurut Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-02/MENKLH/1/1988 Tentang Penetapan Baku Mutu Lingkungan, pencemaran air adalah masuk atau dimasukannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam air atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia ataupun oleh proses alami sehingga kualitas air menurun sampai pada tingkat tertentu yang menyebabkan air kurang berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

D. Logam Berat

1. Definisi dan Jenis

Logam berat merupakan logam yang memiliki densitas $< 5000 \text{ kg/m}^3$ atau lima kali lebih besar daripada densitas air. Bumi mengandung 80 jenis logam berat dari 109 unsur kimia. Adapun karakteristik dari logam berat menurut Palar (1994) adalah sebagai berikut :

- a. Memiliki nomor atom 22-34, 40-50, dan unsur lantanida dan aktinida.
- b. Memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar.
- c. Memiliki respon biokimia spesifik (khas) pada organisme hidup.

Menurut Ismarti (2016), logam berat terbagi menjadi dua jenis, yaitu :

- 1) Logam berat esensial, berupa logam yang sangat dibutuhkan oleh organisme hidup dalam jumlah tertentu, namun jika kadar dalam tubuh melebihi batas normal dapat bersifat toksik. Contohnya adalah seng (Zn), kobalt (Co), besi (Fe), mangan (Mn), dan lain-lain.
- 2) Logam berat non-esensial, berupa logam yang belum diketahui manfaatnya di dalam tubuh bahkan dapat bersifat toksik. Contohnya adalah merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), kromium (Cr), arsen (As), dan lain-lain.

Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, toksisitas logam berat dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu logam berat bersifat toksik tinggi yang terdiri atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn, logam berat yang bersifat toksik sedang terdiri atas unsur-unsur Cr,

Ni, dan Co, dan logam berat bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

Terdapat dua hal yang menyebabkan logam berat termasuk sebagai pencemar berbahaya, yaitu mikroorganisme yang hidup tidak dapat mengahcurkan logam berat di lingkungan dan logam berat akan membentuk kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi yang terakumulasi dalam komponen-komponen lingkungan terutama air. Akumulasi logam menyebabkan tingginya biokonsentrasi dan meningkatnya tingkat toksisitas logam berat dalam tubuh makhluk hidup (Ridhowati, 2013).

Menurut Razak (1998), logam berat dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut dalam perairan. Logam berat terlarut merupakan logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik, sedangkan logam berat yang tidak terlarut merupakan partikel-partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang teradsorpsi pada partikel-partikel yang tersuspensi.

Ridhowati (2013) menjelaskan bahwa sumber pencemaran logam berat terbagi menjadi dua sumber utama, yaitu sumber alami dan sumber buatan.

Adapun sumber alami pencemaran logam berat berasal dari :

- 1) Daerah pantai (*coastal supply*), bersumber dari sungai dan abrasi pantai oleh aktivitas gelombang.
- 2) Logam yang dibebaskan oleh aktivitas gunung api dan proses kimiawi.

3) Lingkungan daratan termasuk atmosfer berupa partikel udara dan dekat pantai termasuk yang ditransportasi oleh ikan.

Sedangkan sumber buatan berasal dari aktivitas manusia terutama proses industri dan kegiatan pertambangan.

2. Karakteristik Unsur

a. Timbal (Pb)

Logam Pb merupakan unsur elemen utama dalam grup karbon yang secara alami terdapat di kerak bumi. Pb termasuk dalam logam berat non-esensial tetapi sangat beracun. Dalam tabel periodik terletak pada golongan IV-A dan periode ke 6 dengan berat atom 207,20. Logam Pb memiliki karakteristik kimia, yaitu titik lebur rendah, mudah dibentuk, dan memiliki sifat kimia aktif. Memiliki titik didih 1.740 C, titik leleh 328 C, dan memiliki gravitasi 11,34. Pb adalah logam lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat serta mudah dimurnikan. Unsur Pb terdapat dalam bentuk senyawa sulfat (PbSO_4), karbonat (PbCO_3), dan sulfida (PbS) di alam (Ridhowati, 2013).

Secara alami, pencemaran Pb dapat disebabkan oleh pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Selain itu, proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin menjadi salah satu sumber pencemaran Pb di perairan. Sedangkan secara buatan, limbah industri menjadi salah satu sumber pencemaran Pb di perairan (Palar, 1994). Pasang surut air laut, interaksi logam Pb dengan senyawa kimia lain, adukan turbulensi dan arus laut, serta lingkungan

dan musim yang tidak menentu menyebabkan kadar logam berat Pb dapat berfluktuasi (Ridhowati, 2013).

b. Nikel (Ni)

Logam Ni merupakan logam berat yang secara alami terbentuk pada kerak bumi dan tersebar di lingkungan. Logam Ni berwarna putih perak dengan berat jenis 8,5 dan berat atom 58,71 g/mol. Dalam tabel periodik terletak pada golongan VIII B periode 4 dengan nomor atom 28. Menurut Vogel (1990), logam ini melebur pada suhu 1.455 C dan bersifat sedikit magnetis. Nikel ditemukan di alam dalam bentuk ion heksaakuinon $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+2}$ dan garam terlarut dalam air. Air laut mengandung $\pm 1,5 \mu\text{gL}^{-1}$ dimana sekitar 50% merupakan bentuk ion bebasnya (Wright, 2002).

Ni terakumulasi di atmosfer akibat dari pembakaran bahan fosil, sampah pembakaran, proses peleburan dan paduan logam, dan asap tembakau. Ni dapat ditemukan di badan perairan dalam bentuk koloid tetapi garam-garam nikel seperti nikel aluminium sulfat dan nikel nitrat bersifat larut dalam air. Nikel akan membentuk senyawa kompleks dengan hidroksida, karbonat, dan sulfat yang selanjutnya mengalami presipitasi pada keadaan aerob dengan $\text{pH} < 9$. Pada keadaan anaerob nikel bersifat tidak larut dalam air (Darmono, 1995).

c. Kadmium (Cd)

Logam Cd merupakan logam berat yang memiliki sifat fisik berupa lunak, berwarna putih perak, cepat mengalami kerusakan bila terpapar

oleh uap amonia (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2) (Palar, 1994).

Sedangkan sifat kimianya, logam Cd bernomor atom 48 dengan titik leleh 320,9 C, titik didih 765 C, dan massa atom 112,41 (Dobson, 1992).

Penggunaan logam ini banyak digunakan dalam industri, misalnya sebagai bahan pewarna dalam industri plastik dan *electroplating*, paduan logam dalam industri persenjataan berat, bahan pembuatan sel weston karena memiliki potensial stabil dalam industri baterai, dan sebagai *stablizer* dalam indsutri *polyvinil chlorida* (PVC).

Limbah logam Cd akan masuk ke badan sungai dan bermuara ke lautan. Hal ini dapat membahayakan kehidupan biota laut dalam suatu konsentrasi tertentu. Dalam tubuh biota perairan, jumlah logamCd terus mengalami peningkatan dengan adanya proses biomagnifikasi di badan perairan (Palar, 1994).

d. Kromium (Cr)

Kata khromium berasal dari bahasa Yunani (*chroma*) yang berarti warna. Dalam tabel periodik terletak pada golongan VI B. Logam Cr berwarna abu-abu, memiliki nomor atom 24, dan berat atom 51,996. Logam ini dapat ditemukan di alam dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain. Sebagai bahan mineral, logam Cr paling banyak ditemukan dalam bentuk *chromite* (FeOCr_2O_3). Logam Cr tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab dan proses pemanasan cairan (Palar, 1994).

United States Environmental Protection Agency (USEPA)

menggolongkan kromium sebagai unsur karsinogenik. Percobaan skala laboratorium membuktikan bahwa senyawa-senyawa kromium heksavalen atau hasil reaksi diantaranya di dalam sel dapat menyebabkan kerusakan pada materi genetik. Selain itu, studi pada hewan percobaan menunjukkan bahwa bentuk kromium dapat menyebabkan masalah reproduksi (Fernanda, 2012).

e. Besi (Fe)

Logam Fe merupakan salah satu logam berat yang dapat ditemukan pada hampir seluruh wilayah bumi, lapisan geologis, dan badan air. Logam Fe berwarna putih perak dengan nomor atom 26 dan berat atom $55,85 \text{ g/mol}^{-1}$. Dalam tabel periodik terletak pada golongan VIII B (Parulian, 2009). Pada umumnya, besi dapat ditemukan di dalam perairan dalam bentuk ion bervalensi dua (Fe^{2+}) dan ion bervalensi tiga (Fe^{3+}). Sedangkan dalam bentuk persenyawaan dapat berupa Fe^{203} , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, atau FeSO_4 tergantung dari unsur lain yang mengikatnya. Konsentrasi besi terlarut yang masih diperbolehkan dalam air bersih adalah $0,1 \text{ mg/L}$.

f. Mangan (Mn)

Logam Mn merupakan salah satu logam berat yang memiliki warna abu-abu putih. Mangan tidak pernah ditemukan dalam bentuk logam bebas di alam, namun dapat ditemukan dalam sejumlah mineral kimia yang berbeda dengan sifat fisiknya (Andik, 2014). Mangan termasuk

logam yang sangat rapuh dan mudah teroksidasi serta memiliki sifat paramagnetik. Pencemaran logam berat di perairan bersumber dari aktivitas alami maupun buatan. Secara alami dapat disebabkan oleh pelapukan batuan pada cekungan perairan atau aktivitas gunung berapi (Connel dan Miller, 1995). Sedangkan secara buatan, pencemaran logam Mn dapat bersumber dari limbah aktivitas manusia seperti industri dan rumah tangga.

g. Seng (Zn)

Logam Zn memiliki warna putih kebiru-biruan yang memiliki titik lebur 410 C dan titik didih 906 C (Vogel, 1990). Karakteristik lain dari logam ini adalah tergolong ke dalam unsur elektropositif yang mudah bereaksi dengan O₂ (Mulyono, 2006).

Seng merupakan zat mineral esensial (Lestari dan Edward, 2004), namun dalam jumlah berlebihan dapat menyebabkan keracunan. Absorpsi seng oleh biota akuatik cenderung berasal dari air laut dibandingkan dari melalui makanannya. Seng berperan dalam proses stabilisasi membran oleh lebih dari 300 macam enzim dan metabolisme protein serta asam nukleat.

h. Kobalt (Co)

Logam Co merupakan memiliki nomor atom 27. Dalam tabel periodik terletak pada golongan VIII B. Co memiliki bilangan oksidasi +2 dan +3 yang mudah larut dalam asam mineral encer, namun logam ini ditemukan relatif stabil pada bilangan oksidasi +2.

Co dapat ditemukan di alam dalam bentuk senyawa, seperti mineral kobalt glans (CoAsS), linalit (Co_3S_4), smaltit (CoAs_2), dan eritrit.

Logam ini berperan sebagai bahan campuran pada pembuatan magnet, alat pemotong, mesin pesawat, pewarna kaca, keramik, dan cat (Wilkinson dan Goefrey, 1989).

Logam ini digolongkan ke dalam unsur renik yang diperlukan dalam pertumbuhan dan reproduksi hewan dan tumbuhan. Co berperan sebagai koenzim untuk mengikat molekul substrat (Effendi, 2003).

Akan tetapi, ion logam dapat menurunkan fungsi enzim dalam tubuh karena dapat menggantikan ion logam tertentu yang berfungsi sebagai kofaktor (Darmono, 2001).

i. Perak (Ag)

Logam Ag memiliki warna putih terang. Perak lebih mudah dibentuk dan lebih keras dibanding emas dan bersifat sangat lunak. Perak murni memiliki konduktivitas kalor dan listrik yang sangat tinggi diantara semua logam dan memiliki resistensi kontak yang sangat kecil. Logam ini memiliki tingkat oksidasi +1 dan ion Ag^+ yang merupakan satu-satunya ion perak yang stabil dalam larutan air (Sugiarto, 2003).

Akumulasi logam Ag dalam tubuh dapat menyebabkan pigmentasi kelabu yang dikenal Argyria. Selain itu dapat menyebabkan iritasi dan menghitamkan kulit. Apabila terikat pada senyawa nitrat, maka akan bersifat korosif (Yulianto, 2006).

E. Kepulauan Krakatau

1. Cagar Alam Laut Krakatau

Berdasarkan Undang-Undang No. 5 tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya, kawasan suaka alam merupakan kawasan dengan ciri khas tertentu, baik di darat maupun di perairan yang mempunyai fungsi pokok sebagai kawasan pengawetan keanekaragaman tumbuhan dan satwa serta ekosistemnya yang juga berfungsi sebagai wilayah sistem penyangga kehidupan. Kawasan suaka alam dapat terbagi menjadi dua, yaitu cagar alam dan suaka margasatwa.

Salah satu cagar alam yang dimiliki Indonesia adalah Cagar Alam Laut Krakatau. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan No. 85/Kpts-II/1990 tanggal 26 Februari 1990, Kepulauan Krakatau ditetapkan sebagai Cagar Alam Laut (CAL) Krakatau dengan luas 13.775,1 ha yang terdiri dari 11.200 ha wilayah perairan dan 2.535,1 ha wilayah daratan. CAL Krakatau terletak di Selat Sunda antara ujung barat Pulau Jawa dan ujung selatan Pulau Sumatera dengan luas semula wilayah daratan 2405,1 ha. Secara administrasi pemerintahan, kawasan Cagar Alam Laut Krakatau terletak di Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung (BKSDA, 2015).

2. Gunung Api Anak Krakatau

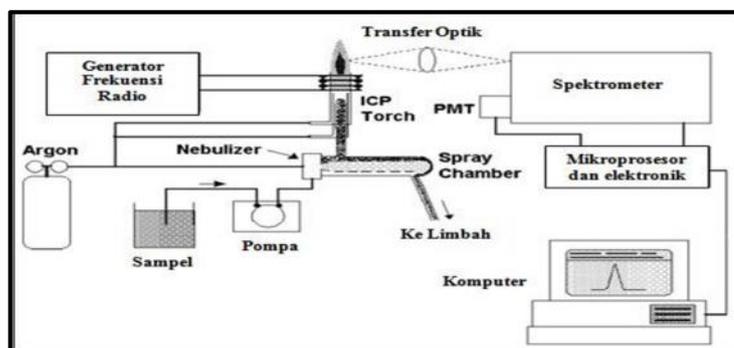
Badan Geologi (2015) menjelaskan bahwa gunung Anak Krakatau merupakan salah satu gunung api aktif yang muncul di tengah Kepulauan

Krakatau dan terlihat sedang ‘tumbuh’ membangun diri. Sejak pemunculannya tanggal 11 Juni 1927 hingga 2011, gunung Anak Krakatau telah mengalami lebih dari 100 kali erupsi baik secara eksplosif maupun erusif dengan waktu istirahat berkisar antara 1 - 6 tahun. Erupsi eksplosif sering terjadi pada periode Oktober 2007 hingga 2011 berupa erupsi magmatik bertipe strombolian, yaitu erupsi eksplosif yang menghasilkan material vulkanis berukuran bongkah, *bomb*, lapili, dan abu yang tersebar di sekitar pulau Anak Krakatau pada radius sekitar 500 – 1.500 m. Sedangkan sebaran abu vulkanik tergantung dari kekuatan dan arah angin. Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis data visual maupun instrumental hingga 21 April 2015, tingkat aktivitas gunung Anak Krakatau masih tergolong dalam level II (Waspada).

F. ICP OES

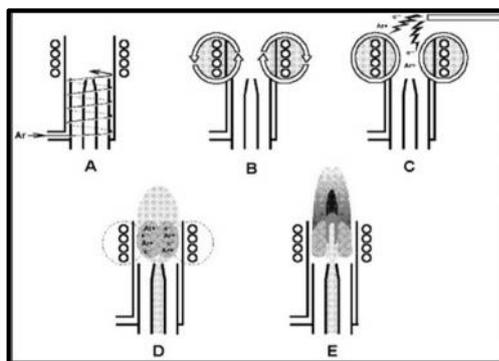
Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

(Gambar 4) merupakan instrumen canggih yang digunakan untuk menentukan logam dalam berbagai matriks sampel berbeda.



Gambar 4. Komponen Utama dan Susunan Instrumen ICP-OES (Boss dan Kenneth, 1997)

Prinsip kerja ICP-OES (Gambar 5) didasarkan pada emisi spontan foton dari atom dan ion yang telah tereksitasi dalam *radio frequency (RF) discharge*. Proses ekstraksi dilakukan terlebih dahulu apabila sampel dalam bentuk padatan sehingga didapatkan dalam bentuk larutan, sedangkan sampel gas dan cair dapat diinjeksikan langsung ke instrumen. Larutan sampel diubah menjadi aerosol dan diarahkan ke pusat plasma.



Gambar 5. Penampang *torch* dan *load coil* ICP-OES
(Boss dan Kenneth, 1997)

Keterangan :

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

Suhu pada bagian inti ICP sekitar 10.000 K, sehingga aerosol cepat diuapkan.

Unsur analit dibebaskan sebagai atom-atom bebas dalam bentuk gas. Eksitasi tumbukan lebih lanjut dalam plasma akan menghasilkan energi tambahan untuk atom sehingga terjadi proses eksitasi. Atom akan diubah menjadi ion kemudian ion akan tereksitasi. Atom dan ion yang tereksitasi dapat

dikembalikan 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 Bradley, 2000).

Gas argon diarahkan melalui *torch* yang terdiri atas tiga tabung konsentris yang terbuat dari kuansa atau beberapa bahan lain yang sesuai. Kumparan tembaga (*load coil*) mengelilingi ujung atas *torch* dan terhubung ke generator frekuensi radio. Bila daya RF ditetapkan pada *load coil*, arus bolak balik bergerak di dalam kumparan atau berosilasi pada tingkat yang sesuai dengan frekuensi generator. Kemudian akan terbentuk medan listrik dan magnet RF di bagian atas *torch* sebagai hasil osilasi RF dari arus dalam kumparan ini. Bunga api yang diterapkan pada gas menyebabkan beberapa elektron akan terlepas dari atom argonnya. Elektron ini kemudian terperangkap dan diakselerasi dalam medan magnet. Penambahan energi pada elektron dengan menggunakan kumparan yang dikenal dengan *inductive coupling*. Elektron berenergi tinggi ini selanjutnya bertumbukan dengan atom gas argon lainnya, menyebabkan lepasnya lebih banyak elektron. Ionisasi tumbukan gas argon berlanjut dalam reaksi berantai, mengubah gas menjadi plasma yang terdiri atas atom argon, elektron, dan ion argon membentuk *inductively coupled plasma (ICP) discharge* yang kemudian dipertahankan dalam *torch* dan *load coil* selama energi RF masih terus ditransfer melalui proses *inductive coupling* (Boss dan Kenneth, 1997).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2017 hingga Januari 2018.

Adapun lokasi pengambilan sampel terletak di Pulau Anak Krakatau, Pulau

Rakata, dan Pulau Panjang yang termasuk dalam kawasan CAL Krakatau.

Selanjutnya tahap preparasi sampel hingga tahap analisis foraminifera

dilaksanakan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan

Bandung. Sedangkan tahap destruksi sampel sedimen laut dan foraminifera

dilaksanakan di Laboratorium Analitik Jurusan Kimia Fakultas MIPA

Universitas Lampung serta analisis logam berat dilaksanakan di Laboratorium

Terpadu dan Sentra Inovasi Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan selama pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai

berikut :

1. *Global Positioning Satellite* (GPS) berfungsi sebagai alat untuk menentukan titik koordinat lokasi pengambilan sampel.
2. Plastik *ziplock* berfungsi sebagai tempat penyimpanan sampel sedimen dan alat tulis, berupa spidol, label, dan pena.

3. Wadah preparasi sampel sedimen dan botol berukuran 98,473 cm³ berfungsi untuk menyamakan volume sampel sedimen yang akan diamati.
4. Mikroskop binokuler tipe OLYMPUS SZX9 berfungsi sebagai alat bantu dalam proses penjentikan dan koleksi foraminifera.
5. Mikroskop tipe NIKON SMZ-1500 yang terhubung dengan kamera NIKON DSFI1 dan komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak NIS Element AR 2.30. berfungsi sebagai alat bantu dokumentasi koleksi foraminifera.
6. Wadah atau piringan penjentik (*ashray tray*) berukuran 8,5 cm x 11,5cm berfungsi sebagai wadah sedimen dalam proses pengambilan foraminifera di bawah mikroskop.
7. Kuas kecil Cotman III berfungsi untuk memisahkan foraminifera dari partikel sedimen (*picking*).
8. Kuas besar untuk membersihkan piringan penjentik dari sisa sedimen.
9. Slide fosil (*assemblage fossil slide*) yang terbagi atas 60 kotak kecil berfungsi sebagai tempat penyimpanan spesimen foraminifera yang telah dipisahkan dari sedimen.
10. Lem (*tragachant gepulvertgum*) berfungsi untuk merekatkan spesimen foraminifera pada *fossil slide* tanpa merusak sedimen.
11. Air berfungsi untuk membantu proses penjentikan dan campuran lem.
12. Buku acuan identifikasi foraminifera menurut Barker (1960) dan Loeblich dan Tappan (1964).
13. Termometer air raksa berfungsi sebagai alat bantu pengukuran suhu perairan.

14. *Secchi disk* berfungsi sebagai alat bantu pengukuran kecerahan perairan.
15. Refraktometer berfungsi sebagai alat bantu pengukuran salinitas perairan.
16. pH meter berfungsi sebagai alat bantu pengukuran derajat keasaman/pH.
17. Timbangan sebagai alat bantu untuk menimbang sampel.
18. Botol film sebagai wadah penyimpanan sampel hasil destruksi.
19. Destruktor Behr DSR 30 sebagai alat untuk destruksi sampel.
20. ICP-OES varian 715 ES sebagai alat untuk analisis logam berat.

Sedangkan bahan utama yang digunakan sebagai objek pengamatan dalam penelitian ini adalah bahan cucian (*washed residu*) sampel sedimen laut dari tiga titik lokasi di Pulau Anak Krakatau, Pulau Rakata, dan Pulau Panjang yang termasuk dalam kawasan Cagar Alam Laut Krakatau. Selanjutnya untuk bahan yang digunakan dalam tahap destruksi adalah asam nitrat 76%, aquabides, es batu, dan aquades.

C. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksplorasi-deskriptif dengan pengambilan sampel secara acak di tiga pulau kawasan CAL Krakatau.

D. Pelaksanaan

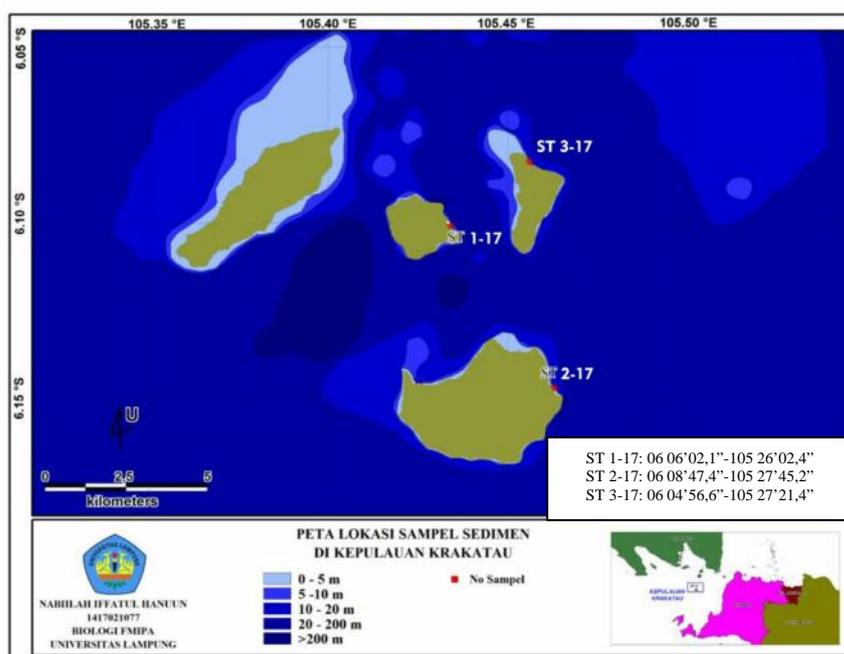
1. Studi Pustaka

Sebelum dilakukan penelitian ini, penulis melakukan studi pustaka terlebih dahulu untuk mengenal dan mempelajari objek pengamatan

dalam penelitian ini. Studi pustaka dilakukan dengan membaca beberapa laporan penelitian ilmiah, jurnal ilmiah, buku, dan artikel ilmiah.

2. Pengambilan Sampel

Tahap pengambilan sampel sedimen laut dilaksanakan pada tanggal 26 - 28 April 2017 di Pulau Anak Krakatau (ST 1-17), Pulau Rakata (ST 2-17), dan Pulau Panjang (ST 3-17) yang termasuk ke dalam kawasan Cagar Alam Laut Krakatau (Gambar 6) pada kedalaman 5 meter.



Gambar 6. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Proses pengambilan sampel menggunakan alat SCUBA dan titik koordinat lokasi pengambilan sampel ditandai dengan menggunakan GPS. Kemudian sampel sedimen yang sudah diambil dimasukkan ke dalam kantong plastik *ziplock* yang telah diberi label.

3. Pengukuran Parameter Lingkungan

Terdapat empat parameter lingkungan yang diukur dalam penelitian ini, yaitu :

- a. Temperatur, dengan menggunakan termometer air raksa yang dimasukkan ke dalam perairan selama satu menit. Kemudian dicatat besar temperatur yang ditunjukkan dari air raksa pada termometer.
- b. Derajat keasaman/pH, dengan menggunakan pH meter.
- c. Kecerahan, dengan menggunakan *secchi disk* yang dimasukkan ke dalam air hingga warna pada lempeng tidak terlihat. Setelah itu panjang tali dihitung menggunakan meteran.
- d. Salinitas, dengan menggunakan refraktometer. Dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan meneteskan satu tetes aquadest menggunakan pipet tete dan perhatikan skala hingga menunjukkan angka 0. Lalu air laut diambil menggunakan pipet tetes dan diteteskan sebanyak satu tetes di bagian kaca refraktometer dan ditutup. Setelah itu dicatat besar kandungan salinitas yang tertera pada skala refraktometer.

4. Preparasi Sampel Foraminifera Benthik

Semua sampel sedimen laut yang telah diambil selanjutnya dicuci dengan air mengalir hingga bersih dan dikeringkan dibawah panas matahari.

Sampel yang telah kering disamakan volumelnya menggunakan botol silinder berdiameter 4,7 cm kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik *ziplock* yang telah diberi label untuk analisis lebih lanjut. Volume total sampel sedimen yang diamati adalah 98,473 cm³.

5. Penjentikan

Penjentikan adalah proses pemisahan spesimen foraminifera satu persatu dari partikel-partikel (mineral, *sponge spikulae*, dan lain-lain) dalam sedimen. Adapun prosedur dari tahap penjentikan, yaitu :

- a. Disiapkan sampel sedimen laut yang akan diamati kemudian sedimen ditaburkan diatas wadah penjentik sedikit demi sedikit.
- b. Wadah penjetik berisi sedimen diletakkan dibawah mikroskop binokuler yang sudah dinyalakan. Dilakukan pengamatan dan pemisahan spesimen foraminifera menggunakan kuas kecil yang telah dicelupkan ke dalam air. Spesimen yang dipisahkan diletakkan di atas *foraminiferal slide* yang sudah dipoles lem secara merata.
- c. Dalam satu *foraminiferal slide* terdiri atas 60 kotak kecil. Masing-masing kotak kecil berisi maksimal 5 spesimen.
- d. Setelah satu sampel sedimen selesai dilakukan penjentikan, dilakukan pembersihan wadah penjentik dari sisa sedimen dengan menggunakan kuas besar.

6. Koleksi

Tahap koleksi foraminifera dilakukan setelah spesimen dipisahkan dari sedimen laut untuk memudahkan dalam proses identifikasi. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

- a. Dilakukan pengambilan setiap spesies foraminifera dengan karakteristik morfologi tubuh yang paling bagus (cangkang utuh) dari seluruh sampel pada setiap stasiun dari koleksi hasil penjentikan.

- b. Foraminifera yang diambil kemudian diletakkan diatas *foraminiferal slide* yang sudah dipoles lem secara merata.
- c. Setiap kotak berisi maksimal tiga spesimen dari satu spesies foraminifera. Dilakukan koleksi dari seluruh sampel spesimen hasil penjentikan.

7. Identifikasi dan Perhitungan Jumlah Individu

Foraminifera yang telah dikoleksi kemudian diidentifikasi berdasarkan ciri morfologi (bentuk cangkang, jumlah dan susunan kamar, apertura, ornamentasi, serta septa dan sutura) dari setiap spesies menggunakan acuan buku identifikasi Loeblich dan Tappan (1964) dan Barker (1960). Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah individu untuk setiap spesies foraminifera yang ditemukan pada setiap stasiun.

8. Dokumentasi

Tahap dokumentasi dilakukan dengan meletakkan *foraminiferal slide* yang berisi koleksi foraminifera dibawah mikroskop tipe NIKON SMZ-1500 yang terhubung dengan kamera NIKON DSFI1 dan komputer yang dilengkapi dengan *perangkat lunak* NIS Element AR 2.30.

9. Destruksi Sampel

Tahap ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Sampel sedimen dan foraminifera ditimbang seberat 2 gram.
- b. Sampel dihaluskan untuk memudahkan dalam tahap destruksi.

- c. Sampel yang sudah siap kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditetaskan asam nitrat 76% sebanyak 5 mL.
- d. Kemudian sampel didestruksi dengan menggunakan alat destruktur Behr DSR 300 selama dua jam dengan suhu 120⁰C.
- e. Selanjutnya diencerkan dengan aquabides hingga volume 25 mL.

10. Analisis Logam Berat

Tahap ini dilakukan dengan menggunakan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) Varian 715-ES.

E. Parameter Penelitian

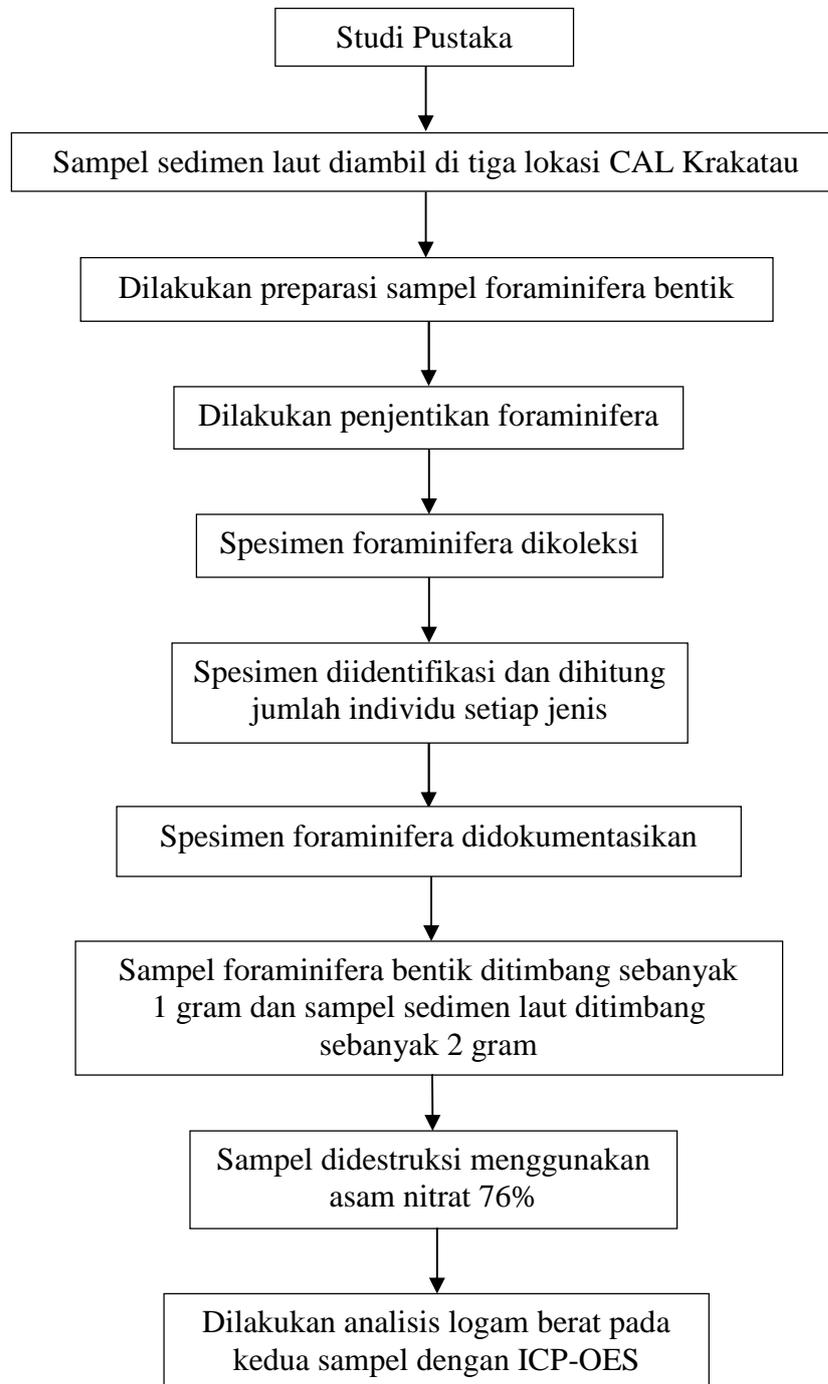
Terdapat 9 parameter logam berat yang diukur dalam penelitian ini, yaitu Timbal (Pb), Nikel (Ni), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn), Kobalt (Co), dan Perak (Ag).

F. Analisis Data

Data hasil penelitian kemudian dianalisis secara deskriptif. Nilai kandungan logam berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), Kromium (Cr), Timbal (Pb), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn) Kobalt (Co) dan Perak (Ag) pada sedimen laut dan foraminifera bentik di perairan CAL Krakatau dibandingkan dengan konsentrasi logam berat dengan kriteria baku mutu logam berat pada sedimen dan air laut.

G. Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Terdapat 38 jenis foraminifera terdiri atas 2 jenis foraminifera planktonik dan 36 jenis foraminifera bentik di perairan CAL Krakatau. Foraminifera yang ditemukan terbagi ke dalam 6 ordo, 15 famili, dan 22 genera.
2. Kandungan logam Ni, Cd, Cr, Zn, Mn, Fe, Co, Ag, dan Pb dalam sedimen laut masih di bawah standar baku mutu sedimen. Sementara kandungan logam Mn, Pb, dan Fe dalam beberapa sampel foraminifera bentik sudah melewati standar baku mutu air laut.
3. Apabila melihat dari hasil pengamatan lingkungan, perairan CAL Krakatau masih tergolong baik menurut KEPMENLH Tahun 2004.

B. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai keanekaragaman, kelimpahan, dan struktur komunitas foraminifera dan eksplorasi kandungan logam berat pada sedimen dan foraminifera atau biota laut lainnya secara berkala di perairan CAL Krakatau.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisaputra, M. dan Rostyati, D. 2003. Foraminifera Sedimen Dasar Laut Delta Mahakam, Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*. 1(3): 1 – 10.
- Afriyanti, V. 2017. Identifikasi Logam Berat pada Plankton di Perairan Kepulauan Krakatau. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Amin, B. 1999. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat Pb dan Cu Pada Mangrove (*Avicennia Marina*) di Perairan Pantai Dumai, Riau. *Jurnal Ilmu Kelautan*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Andik, S. 2014. Studi Kadar Mangan (Mn) pada Air Sumur Gali di Desa Karangnunggal Kecamatan Karangnunggal Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal Kesehatan Komunitas Indonesia*. 10(1): 974
- Anonim. 2018. Kobalt (Co): Fakta, Sifat, Kegunaan & Efek Kesehatannya. *[Online]*. <https://www.amazine.co/28257/kobalt-co-sifat-kegunaan-efek-kesehatannya>. Diakses pada tanggal 21 Januari 2018 Pukul 21.11 WIB.
- Aschan, M. dan Skullerud, A. 1990. Effects of changes in sewage pollution on soft-bottom macrofauna communities in the inner Oslofjord, Norway. *Sarsia*. 75: 169–190.
- Badan Geologi. 2014. Data Dasar Gunung Anak Krakatau. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung. *Artikel Online* <https://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/509-g-krakatau>. Diakses pada tanggal 16 September 2017 pukul 20.38 WIB.
- Badan Geologi. 2015. Evaluasi Tingkat Aktivitas Level II Waspada Gunung Anak Krakatau. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung. *Artikel Online* <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/aktivitas-gunungapi/822-evaluasi-tingkat-aktivitas-level-ii-waspada-g-anak-krakatau>. Diakses pada tanggal Rabu, 23 Agustus 2017 pukul 11.45 WIB.
- Barańkiewicz, D. dan Siepak, J. 1999. Chromium, nickel and cobalt in environmental samples and existing legal norms. Polish. *J. Environ. Studies*. 8 (4), 201.

- BKSDA Lampung. 2006. *Buku Panduan Kawasan Cagar Alam Laut Krakatau Provinsi Lampung*. Bandar Lampung.
- BKSDA. 2012. *Buku Teks Informasi CAL Krakatau*. Bandar Lampung.
- BKSDA. 2015. *Buku Teks Informasi Balai KSDA Lampung Inovasi Konservasi di Provinsi Lampung*. Balai KSDA Lampung. Bandar Lampung.
- Boehm, P. D. 1987. *Transport and Transformation Process Regarding Hydrocarbon and Metal Pollution in Offshore Sedimentary Environment In: Long Term Effect Of Shore Oil And Gas Development*. D. F. Boesch and N. N. Rabalais. Elsevier applied science. London.
- Boersma, A. 1978. *Introduction to Marine Micropalaeontology*. Elsevier Biomedical. New York.
- Boltovskoy, E. dan Wright, R. 1976. *Recent Foraminifera*. Publishers-The Hague. Buenos Aires.
- Boss, C. B. dan Kenneth J. F. 1997. *Concepts, Instrumentation, and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, Second Edition*. Perkin Elmer. USA
- Campbell, N., Reece, J., Urry, L., Cain, M., Wasserman, S., Minorsky, V., dan Jackson, R. 2008. *Biologi Edisi Kedelapan Jilid 2*. Erlangga. Jakarta. 441 Hal.
- CEDA. 1997. *Standards and Guidelines for Classifying The Level of Chemical Contamination of Dredged Materials For Disposal (Mg/Kg Dry Weight)*. Berth: Environmental Statement for Port of Southampton.
- Connel dan Miller. 1995. *Kimia dan Etoksikologi Pencemaran*, diterjemahkan oleh Koestoer, S. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Coogan T., Latta D., Snow E., dan Costa M. 1989. Toxicity and carcinogenicity of nickel compounds. *Crit. Rev. Toxicol.* 19 (4), 341.
- Dahl, A. 1981. *Coral Reef Monitoring Handbook South Pacific Commission Noumea, New Caledonia*. 22 Hal.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Darmono. 2001. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Dobson, S. 1992. *International Programme On Chemical Safety Environmental*

Health Criteria 135 Cadmium –Environmental Aspect. Institute of Terrestrial Ecology. World Health Organization. United Kingdom.

Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengolahan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.

Environmental Impact Assessment (EIA). 2015. *Umm Al Houl Independent Water and Power Plant (IWPP)*. Umm Al Haul Company. Abu Dhabi.

Environmental Protection Agency (EPA). 1973. *Water Quality Criteria*. Ecology Research Series. Washington. 595 p.

Fernanda L. 2012. Studi kandungan logam berat timbal (Pb), nikel (Ni), Kromium (Cr) dan Kadmium (Cd) pada kerang hijau (*Pernaviridis*) dan sifat fraksionasinya pada sedimen laut. *Skripsi*. Depok. Universitas Indonesia.

Ferraro, L. dan Marsella, E. 2006. Benthic foraminifera and heavy metals distribution: A case study from Naples Harbour (Tyrrhenian Sea, Southern Italy). *Journal of Environment Pollution*. 142(2): 274-287.

Fitriawan, F. Dan Sunarto. 2015. Kandungan Logam Berat dan Kadar Yodium pada Sumber Mata Air (Suatu Analisis terhadap Faktor Terjadinya *Down Syndrome* dengan Metode *Atomic Absorbtion Spectrofotometr Y (Aas)* Pada Masyarakat "Kampung Idiot" Sido Wayah). *Jurnal Ekosains*. 7(2)

Gupta, B. 1999. *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers. Netherland.

Gray, John S. dan Elliott, Michael. 2009. *Ecology of Marine Sediments*. Second Edition. Oxford University Press. New York.

Hutabarat, S. dan Stewart M. Evans. 2014. *Pengantar Oseanografi*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Hou, X., dan Bradley T. 2000. *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.

Ismarti. 2016. Pencemaran Logam Berat di Perairan dan Efeknya pada Kesehatan Manusia. *Artikel Online*. <http://www.opini.unrika.ac.id>. Diakses pada tanggal 17 September 2017 pukul 17.37 WIB.

Isnaniawardhani, V. dan Muhammadsyah, F. 2003. Kelimpahan, Keanekaragaman, dan Spesies Khas dari Kumpulan Foraminifera Bentik pada Sedimen Permukaan Dasar Laut di Perairan Tambelan. Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjajaran. *Bulletinn of Scientific Contribution*. 13(3): 259 - 269.

- Lestari dan Edward. 2004. Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Kualitas Air Laut dan Sumber Daya Perikanan (Studi Kasus Kematian Massal Ikan-Ikan di Teluk Jakarta). *Makara Sains*. 8(2): 52-58.
- Lindsay, W. 1972. *Inorganic Phase Equilibria of Micronutrients in Soils*. Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Loeblich dan Tappan. 1964. Sarcodina, Cheifly 'Thecamoebians' an Foraminiferida, in *Treatise on Invertebrate Palaeontology*. Geological Society of America. U.S.
- KSDAE. 2017. BKSDA Bengkulu Tambah Sarpras CA Kepulauan Krakatau. KSDAE. Jakarta. [Online] <https://ksdae.menlhk.go.id/berita/1487/bksda-bengkulu-tambah-sarpras-ca-kepulauan-krakatau.html>
- Marine Institute of Environmental Protection Agency (MI EPA)*. 2010. *An Assesment of Dangerous Substances in Water Framework Directive Transitional and Coastal Water : 2007-2009*. Marine Environmental Food Safety and Services.
- MENLH. 2004. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: 51/MENLH/2004 Tahun 2004. Tentang Penetapan Baku Mutu Air Laut dalam Himpunan Peraturan di Bidang Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Minarto, E., Heron S., Elizabeth, V., Tjong, G., Muzilman, M. dan Eka, S. 2008. *Distribusi Temperatur dan Salinitas Bulan November 2008 di Selat Sunda*. ITS, UNSRI, ITB, UI, UNAS. Jakarta.
- Moore, J. 1991. *Inorganic Contaminant of Surface Water*. Springer Verlag. New York.
- Muiruri, M. 2009. Determination of Concentration Of Selected Heavy Metals in Tilapia Fish, Sediments, and Water From Mbagath and Ruiru Athi River Tributaries, Kenya. *Thesis*. Analytical Chemistry in Thhe School and Applied Sciences. Kenyatta University. Kenya.
- Mulyono. 2006. *Kamus Kimia*. Cetakan Pertama. Gramedia. Jakarta.
- Nammiinga, H. and Wilhm, J. 1977. *Journal of Water Pollution Control Federation*. A Dynamic Model For Simulation Waste Digestion.
- Novriadi, A. 2012. Evaluasi Komunitas Terumbu Karang di Perairan Cagar Alam Laut Krakatau. *Skripsi*. Biologi FMIPA. Universitas Lampung.
- Nybakken, J. 1992. *Biologi Laut : suatu pendekatan ekologis*. Alih Bahasa: H.M. Eidma, Koesbintoro, D. G Benger, M. Hutomo, dan S. Sukarjo. Gramedia. Jakarta.

- Oktavia, R., Pariwono, J., dan Manurung, P. 2011. Variasi Muka Laut Dan Arus Geostrofik Permukaan Perairan Selat Sunda Berdasarkan Data Pasut dan Angin Tahun 2008. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 3(2): 127-152.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Parulian, A. 2009. Monitoring dan Analisis Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) pada Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal. Medan. *Tesis*. Pascasarjana Universitas Sumatera Utara (USU). Sumatera Utara.
- Prasetiawati, E. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat pada Spesies Ikan Karang di Kepulauan Krakatau Kecamatan Rajabasa Provinsi Lampung. *Skripsi*. Biologi FMIPA. Universitas Lampung.
- Pringgoprawiro, H. 1984. *Diktat Mikropalaeontologi Lanjut*. Laboratorium Mikrolapaleontologi Institut Teknologi Bandung. Bandung. 98 Hal.
- Pringgoprawiro, H. dan Kapid, R. 2000. *Foraminifera: Pengenalan Mikrofosil dan Aplikasi Biostratigrafi*. ITB. Bandung. 112 Hal.
- Ridhowati, E. 2013. *Mengenal Pencemaran Ragam Logam*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 62 Hal.
- Rifardi. 2012. *Ekologi Sedimen Laut Modern*. Unri Press. Pekanbaru. 155 Hal.
- Rositasari, R. 2011. Karakteristik Komunitas Foraminifera di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* . 3(2): 100-111.
- Razak, T. 1998. Struktur Komunitas Karang Berdasarkan Metode Transek Garis dan Transek Kuadrat di Pulau Menyawakan Taman Nasional Karimun Jawa Jateng. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Saad, S., Atmini, S., Rudianto, M., Diposaptono, S., Basuki, R., Dermawan, A., dan Batubara, R. 2014. *Laut Masa Depan Kita*. Direktorat Jenderal Kelautan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Republik Indonesia. Jakarta.
- Safira, I. 2017. Identikasi Makroalga dan Logam Berat pada Makgoalga di Perairan Cagar Alam Laut Krakatau dengan Menggunakan ICP OES. *Skripsi*. Biologi FMIPA. Universitas Lampung.
- Sugiarto, K. 2003. *Kimia Anorganic II Common textbook (Edisi Revisi)*. Jurusan Kimia FPMIPA UNY. Yogyakarta.

- 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*. 18(1):38–45.
- Syahminan. 1996. Studi Distribusi Pencemaran Logam Berat di Perairan Estuari. Sungai Siak, Riau. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor.
- Tomasick, T., Mar, A, Nontji, A., dan Moosa, M. 1997. *The Ecology of Indonesian Seas*. Volume VIII Part 2. Periplus Edition (HK) Ltd. Singapore.
- Vogel. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. PT.Kalman Media Pustaka. Jakarta.
- Von Burg, R. 1997. Toxicology update. *J. Appl. Toxicol.* 17, 425.
- USEPA. 2004. *The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of United States, National Sediment Quality Survey :2ndEdition*. U. S. Environmental Protection Agency. Washington D.C.
- Wahyuni, E., Triyono, S., dan Suherman. 2012. Penentuan Komposisi Kimia Abu Vulkanik dari Erupsi Gunung Merapi. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 19(2): 150-159.
- Wetmore, K. 2000. Forams Facts An Introduction to Foraminifera. [Online]. <http://www.ucmp.berkeley.edu/fosrec/Wetmore.html>. Diakses pada tanggal 22 Agustus 2017 pukul 11.18 WIB.
- Wilkinson, C. dan Geoffrey, A. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Universitas. Indonesia. Jakarta.
- World Health Organization (WHO). 2003. Chromium , zinc, lead, in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality, Geneva, (WHO/SDE/WSH/03.04/4).
- Wright, D. dan Pamela, W. 2002. *Environmental Toxicology*. Cambridge Environmental Chemistry series 11. Cambridge University Press. Cambridge
- Yanko, V. 1994. Problems in paleoceanography in the eastern Mediterranean: Late Quaternary foraminifera as a basis for tracing pollution sources: Israeli Ministry of Science *Final Report*. 275 Hal.
- Yosmaniar, Supriyono, E., Nirmala, K., dan Sukenda. 2009. Toksisitas Subletal Moluskisida Niklosamida terhadap Pertumbuhan dan Kondisi Hematologi Yuwana Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). Departemen Budidaya Perairan

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor. *Jurnal Riser Akuakultur*. 4(3): 385-393.

Yudo, S. 2006. Kondisi Pencemaran Logam Berat di perairan Sungai DKI Jakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 2(1).

Yulianto, B. 2006. Penelitian Tingkat Pencemaran Logam Berat di Pantai Utara Jawa Tengah. *Laporan Penelitian*. Badan Penelitian dan Pengembangan. Provinsi Jawa Tengah.