

**KERAGAMAN JENIS PLANKTON DAN ANALISIS LOGAM BERAT
PADA PLANKTON DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN
PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG**
(Skripsi)

Oleh

Anisa Danyatul Afifa
NPM 1717021085



JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021

ABSTRAK

KERAGAMAN JENIS PLANKTON DAN ANALISIS LOGAM BERAT PADA PLANKTON DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG

Oleh

ANISA DANYATUL AFIFA

Sungai Way Ratai merupakan salah satu sungai yang bermuara di Teluk Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung, dimana terdapat beberapa kegiatan penambangan emas skala kecil di sisi sungai. Limbah tailing yang dihasilkan dari kegiatan penambangan mempengaruhi kandungan logam berat di dalam air karena pembuangan tailing langsung ke air. Oleh karena itu, diperlukan informasi lebih lanjut mengenai kandungan logam berat di perairan, khususnya yang terkandung dalam plankton. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman jenis plankton yang terdapat di perairan Teluk Ratai. Delapan (8) lokasi pengambilan sampel ditunjukkan di sepanjang sungai sampai ke pantai.

Penelitian dilakukan pada bulan November 2020 - Februari 2021. Kadar logam berat air dan plankton ditentukan dengan menggunakan ICP-OES (varian 715-ES). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 14 kelas dan 77 jenis plankton. Kandungan logam Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, dan Pb dalam plankton semuanya berada di atas baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah, (PERMEN LH No.5 / 2014, PP RI No 22/2021, dan ANZECC / ARMCANZ 2000). Kandungan logam berat Cd, Cu, Fe, Mn, dan Zn di sungai telah memenuhi baku mutu air yang telah ditetapkan, sedangkan logam Ag dan Pb belum terdeteksi. Kandungan logam Cd, Cr, Cu, Pb, dan Zn dalam air laut telah memenuhi baku mutu logam berat untuk air laut. Nilai BCF tertinggi (12,96) ditemukan untuk Fe di stasiun G sedangkan, nilai BCF terendah (0,13) ditemukan untuk Ag di stasiun G dan H.

Kata kunci: Logam Berat, Plankton, Sungai Way Ratai, Teluk Ratai.

ABSTRACT

PLANKTON DIVERSITY AND ITS HEAVY METAL CONTENT IN PLANKTON ON THE WATERS OF WAY RATAI, PESAWARAN REGENCY, LAMPUNG PROVINCE

By

ANISA DANYATUL AFIFA

Way Ratai River is one of the rivers that empties into Teluk Ratai, Pesawaran Regency, Lampung Province, where there are several small-scale gold mining activities on the river side. The tailings waste generated from mining activities affects the heavy metal content in the water because the tailings discharge directly into the water. Therefore, further information is needed regarding the content of heavy metals in the waters, especially those contained in plankton. In addition, this study aims to determine the diversity of plankton species found in the waters of Ratai Bay. Eight (8) sampling locations are indicated along the river to the coast. The study was conducted in November 2020 - February 2021. The levels of heavy metals in water and plankton were determined using ICP-OES (variant 715-ES). The results showed that there were 14 classes and 77 types of plankton. The metal content of Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, and Pb in plankton are all above the quality standard based on Government Regulation, (PERMEN LH No. 5 / 2014, PP RI No 22/2021, and ANZECC / ARMCANZ 2000). The content of heavy metals Cd, Cu, Fe, Mn, and Zn in the river has met the water quality standards that have been set, while the metals Ag and Pb have not been detected. The metal content of Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn in seawater has met the heavy metal quality standard for seawater. The highest BCF value (12.96) was found for Fe at station G, while the lowest BCF value (0.13) was found for Ag at stations G and H.

Keyword: Heavy Metal, Plankton, Ratai Bay, Way Ratai River.

**KERAGAMAN JENIS PLANKTON DAN ANALISIS LOGAM BERAT
PADA PLANKTON DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN
PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG**

Oleh

Anisa Danyatul Afifa

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul : **KERAGAMAN JENIS PLANKTON DAN ANALISIS LOGAM BERAT PADA PLANKTON DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG**

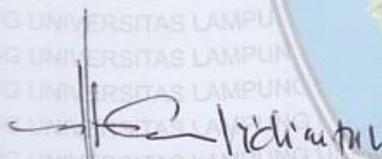
Nama Mahasiswa : **Anisa Danyatul Afifa**

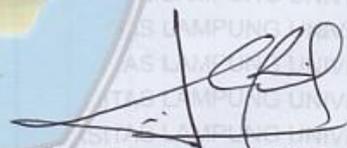
NPM : **1717021085**

Jurusan/Program Studi : **Biologi/S1 Biologi**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




Endang L. Widhiastuti, Ph.D.
NIP. 196106111986032001


Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D.
NIP. 196411191990031001

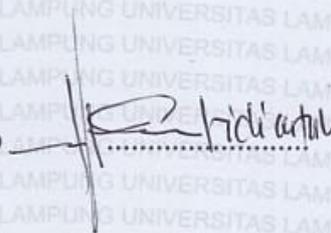
MENGETAHUI
Ketua Jurusan Biologi
FMIPA Unila


Drs. M. Kanedi, M.Si.
NIP. 196101121991031002

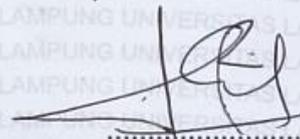
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Endang Linirin Widiastuti., Ph.D



Sekretaris : Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D.



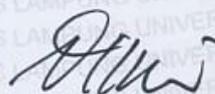
Anggota : Drs. Suratman, M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M. T
NIP. 197407052000031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Juli 2021

SURAT PERTANYAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Anisa Danyatul Afifa
NPM : 1717021085
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul :

“KERAGAMAN JENIS PLANKTON DAN ANALISIS LOGAM BERAT PADA PLANKTON DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG”

Baik gagasan, data, maupun pembahasannya adalah **benar** karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika yang berlaku dan saya memastikan bahwa tingkat similaritas skripsi ini tidak lebih dari 20%

Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 16 Agustus 2021

enyatakan,



(Anisa Danyatul Afifa)

NPM. 1717021085

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di RS Surya Asih Pringsewu pada tanggal 27 Juni 1999 sebagai anak terakhir dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Budi Santoso dan Ibu Prehtiwi Hestin Murtiati. Penulis menempuh pendidikan di Taman kanak-kanak Pertiwi Gadingrejo tahun 2004 – 2005. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan dasar di SDN 7 Gadingrejo tahun 2005 – 2011. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMPIT Nurul Iman Purworejo tahun 2011 – 2014. Dan penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan selanjutnya di SMAN 2 Gadingrejo pada tahun 2014 – 2017.

Pada tahun 2017 penulis resmi terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Penulis menyelesaikan pendidikan pada perguruan tinggi dan meraih gelar Sarjana Sains pada tahun 2021. Selama menjadi mahasiswa Jurusan Biologi FMIPA Unila, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO FMIPA Unila) dan Badan Eksekutif Mahasiswa pada tahun 2018-2019.

Selama masa perkuliahan penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tanggal 2 Januari 2020 selama satu bulan di Pusat Penelitian Biologi-LIPI. Laporan PKL yang dibuat penulis berjudul **“Pengelolaan dan Identifikasi Spesimen Rodentia (Muridae) di Laboratorium Biosistemika Mamalia, Bidang Zoologi, Puslit Biologi – Lipi”**.

Pada 1 Juli – 20 Agustus 2020 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Tambahrejo Kecamatan Gadingrejo Provinsi Lampung. Penulis menyelesaikan tugas akhirnya dalam bentuk skripsi pada tanggal 16 Agustus 2021 dengan Judul “Keragaman Jenis Plankton dan Analisis Logam Berat pada Plankton di Perairan Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung”

*Kepada Ayahanda dan
Ibunda Tercinta, Terkasih,
dan Tersayang.*

*“Nothing is impossible, everything is possible if
you believe in Allah”*

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhanaallahu Ta'ala, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Alhamdulillah penulis ucapkan atas kehadiran Allah Subhanaallahu Ta'ala, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini didanai oleh SRIREP (*Sustainable Regional Innovation for Reducing Environmental Polutions*) Studies Universitas Lampung dan bekerja sama dengan RIHN (*Research Institute for Humanity and Nature*) tahun 2020.

Skripsi dengan judul “Keragaman Jenis Plankton dan Analisis Logam Berat pada Plankton di Perairan Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kendala dan kekurangan. Namun dengan bantuan Allah SWT dan berbagai pihak yang terlibat sehingga kendala-kendala yang dihadapi dapat teratasi. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M. T., selaku Dekan FMIPA Unila;
2. Bapak Drs. M. Kanedi, M.Si., selaku Ketua Jurusan FMIPA Unila;
3. Ibu Kusuma Handayani, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi, Jurusan Biologi, FMIPA Unila;
4. Ibu Endang Linirin W., Ph.D., selaku pembimbing utama atas kesediaannya memberikan bimbingan, motivasi, saran dan kritik dengan kesabaran selama penulis menyusun skripsi sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini;

5. Bapak Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D., selaku pembimbing kedua atas kesediaannya memberikan bimbingan, motivasi, saran dan kritik dengan kesabaran selama penulis menyusun skripsi sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini;
6. Drs. Suratman, M.Sc., selaku penguji utama pada ujian skripsi, yang telah memberikan kritik, masukan, saran, dan nasihat yang membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini menjadi lebih baik;
7. Prof. Dr. Sutyarso, M.Biomed., selaku pembimbing akademik atas bimbingan dan saran kepada penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi;
8. Kepada seluruh dosen Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu tanpa mengurangi rasa hormat penulis. Terimakasih atas ilmu pengetahuan dan segala bantuan yang telah diberikan pada penulis selama menempuh Pendidikan hingga selesainya skripsi ini;
9. Teristimewa kepada Abi dan Umi serta saudara-saudara penulis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan nasehat secara moral, spiritual dan materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
10. Teman-teman seperjuangan dalam penelitian *The Metals Team* yaitu Fatimah Al-Hafizoh yang saya sayangi yang senantiasa mengingatkan penulis untuk mengejar target wisuda, lalu ada Enisantaria Br. Manik, dan Rizka Ayu Assyfa, mereka yang selalu memberikan dukungan, tawa, dan semangat pada penulis selama penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
11. Sahabat ku tersayang Mu'minatul Istiqomah dan Clarisa Ismi Faradhila yang selalu ada dan mendukung penulis baik dalam keadaan suka maupun duka, yang sudah menjadi teman baik penulis sejak kecil sampai detik ini;
12. Teman-teman spesial Dimas Wahyu Mahesa, Anggun Legi Pratiwi, Fauzi Pamungkas, Mega Oktavia, Elyza Widiastuti, Anisa Aprilia, dan masih

banyak lagi yang tidak penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas kerjasama, kebersamaan, canda tawa diantara kita;

13. Teman-teman angkatan 2017 Biologi FMIPA Unila yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama penulis menyelesaikan penulisan skripsi ini;
14. Almamater Universitas Lampung beserta seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian perkuliahan dan penulisan skripsi ini;

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, namun besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan wawasan bagi pembaca dan terkhusus untuk penulis.

Bandar Lampung, 16 Agustus 2021

Penulis,

Anisa Danyatul Afifa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Tujuan Penelitian.....	2
1.3.Manfaat Penelitian.....	2
1.4.Kerangka Pikir.....	3
II. TINJAUAN PUSKATA	4
2.1.Peraian Lampung.....	4
2.2.Pertambangan	5
2.3.Logam Berat	7
2.4.Plankton.....	14
2.5.Penyerapan Logam Pada Plankton	15
2.6.Biokonsentrasi Faktor.....	16
2.7.ICP-OES	17
III. METODE PENELITIAN	21
3.1.Waktu dan Tempat	21
3.2.Alat dan Bahan	22
3.3.Prosedur Kerja.....	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1.Jenis Plankton di Perairan Way Ratai	26
4.1.1. Keanekaragaman Plankton di Aliran Sungai Way Ratai	26
4.1.2. Keanekaragaman Plankton di Perairan Pesisir Teluk Ratai.....	28
4.2.Logam Berat pada Plankton	29
4.3.Logam Berat pada Air	32
4.4. Faktor Biokonsentrasi Logam Berat pada Plankton	35
V. SIMPULAN DAN SARAN	37
5.1.Simpulan.....	37
5.2.Saran	37

DAFTAR PUSTAKA.....	38
----------------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Lokasi Pengambilan Sampel	22
2. Jenis Plankton Sungai Way Ratai.....	27
3. Jenis Plankton Pesisir Way Ratai	28
4. Logam Berat pada Plankton	30
5. Rata-Rata Logam Berat pada Air	33
6. Nilai BCF Logam Berat pada Plankton.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Urutan pengapian penampang <i>torch</i> dan <i>load coil</i>	18
2. Komponen utama serta susunan instrumen ICP-OES	19
3. Sketsa lokasi pengambilan sampel Teluk Ratai.	21

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai kawasan dengan area pesisir, kawasan Perairan Teluk Lampung seringkali digunakan untuk berbagai macam aktivitas misalnya pariwisata, pelayaran, perdagangan, dan juga pertambangan. Berbagai limbah akhirnya berpotensi menjadi pencemar dan kualitas perairan pun menurun akibat adanya aktivitas tersebut. Gerakan massa air dapat membuat penyebaran limbah ke area lain yang diakibatkan oleh aktivitas-aktivitas tersebut, sehingga dampak buruk akan timbul pada kegiatan lainnya. Way Pedada, Way Sabu, Way Kuala, Way Sulan, Way Belau, Way Ratai, Way Punduh, Way Galih, Way Kuripan diketahui merupakan sungai yang bermuara di Teluk Lampung (Pemerintah Provinsi Lampung Dinas Kelautan dan Perikanan, 2007).

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan Direktori Perusahaan Pertambangan dan Energi Lampung terdapat beberapa pertambangan dan penggalan di Pesawaran dengan status aktif, salah satunya terdapat pada titik di sekitar bantaran Sungai Way Ratai (Knedi & Rochayatini, 2018).

Sebagai daerah pertambangan, tambang emas dapat menghasilkan limbah pencemar yang memiliki kandungan beracun. Menurut Abidjulu, 2008 jika logam berat yang terkandung pada perairan melewati standar baku mutu hal ini sangat jauh dari kata aman. Merujuk pada Kementerian Negara Kependudukan & Lingkungan Hidup (2004), ciri dan tingkat racun logam berat dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan yakni tingkat racun rendah (Mn & Fe), tingkat racun sedang (Cr, Ni, & Co), dan tingkat racun tinggi (Hg, Cd, Pb, Cu, & Zn).

Keragaman klasifikasi organisme di perairan bisa didasarkan pada pegamatan fase kehidupan maupun *habits* hidupnya. Plankton merupakan satu dari banyak jenis organisme yang mampu bertahan di area perairan. Plankton sendiri merupakan organisme mikro yang tampak berterbangan pada kolom daerah perairan dan tertarik arus. Perhatian lebih terhadap keanekaragaman plankton perlu dilakukan guna mencapai tujuan meneliti lebih lanjut tingkat kesuburan dari suatu perairan yang dapat diketahui dengan mengidentifikasi keanekaragaman plankton pada suatu perairan. Proses bioakumulasi dapat membuat tubuh plankton dapat terkonsentrasi oleh logam berat. Adanya plankton pada perairan terutama fitoplankton, berperan penting sebagai produsen primer kehidupan di bumi. Kemudian, sistem *food web* sebagai jaring makanan dan sistem *food chain* sebagai rantai makanan juga dinilai memerlukan plankton sebagai satu dari beberapa komponen utama yang diperlukan. Menilik latar belakang yang telah disampaikan penulis, maka penelitian lebih lanjut guna meneliti sejauh mana kontaminasi logam berat pada plankton pada area perairan perlu dilakukan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yakni menganalisis kandungan maupun tingkat pencemaran logam berat di tubuh plankton yang diakibatkan oleh limbah pertambangan emas dan juga jenis jenis plankton yang ada di perairan Way Ratai, Pesawaran, Lampung Selatan.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan guna dijadikan sebagai informasi tambahan terkait tingkat pencemaran logam berat pada plankton di perairan Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Lampung Selatan dan dapat dijadikan saran tambahan bagi pemerintah daerah maupun warga guna menjaga dan meningkatkan kualitas pengelolaan aktivitas pertambangan yang lebih ramah terhadap alam.

1.4 Kerangka Pikir

Sebagian besar wilayah Lampung dinilai memiliki area perairan dengan berbagai macam kemungkinan keberhasilan sumber daya alam yang tinggi sehingga masyarakat kerap melakukan berbagai macam aktivitas di sekitar perairan, dimana kegiatan tersebut berpotensi untuk mencemari perairan dan sekitarnya, salah satu contoh kegiatan tersebut ialah pertambangan. Kegiatan ini dapat menghasilkan limbah yang bisa berdampak negatif bagi lingkungan, biota yang tinggal di dalamnya maupun manusia. Plankton ialah salah satu mikroorganisme yang hidup melayang-layang di perairan. Dibandingkan organisme lainnya yang berukuran lebih besar, membuat plankton dapat mengakumulasi logam berat lebih cepat, hal ini didasarkan dari lebih besarnya luas permukaannya jika disandingkan dengan taraf volumenya, sehingga dapat mengakumulasi zat organik maupun anorganik dengan kecepatan lebih dalam waktu yang cepat secara signifikan. Mampu mengidentifikasi jenis-jenis plankton di area perairan pun perlu ditingkatkan, karena dengan kemampuan mengidentifikasi jenis-jenis plankton yang terdapat di area perairan maka berguna juga guna mengidentifikasi taraf kesuburan & kualitas di ekosistem tersebut. Telah banyak penelitian sebelumnya yang mengamati tentang akumulasi logam berat pada plankton tetapi masih sedikit informasi mengenai tingkat pencemaran perairan khususnya di daerah Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Berdasarkan survey sebelumnya terdapat lokasi penambangan di sekitar bantaran Sungai Way Ratai. Oleh karena itu peneliti memilih untuk mengetahui secara lebih mendalam terkait kandungan logam berat di tubuh plankton maupun jenis-jenis plankton yang ada di perairan Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pertambangan

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan Direktori Perusahaan Pertambangan dan Energi Lampung, terdapat 32 jumlah perusahaan pertambangan dan penggalian di wilayah hukum Provinsi Lampung dengan status aktif, terdapat puluhan tempat pengolahan emas terlihat di beberapa titik di sekitar bantaran sungai Way Ratai dan bahkan para pengelola emas tersebut menggunakan zat kimia (merkuri) yang sangat berbahaya bagi lingkungan bahkan pengolahan emas tersebut di lingkungan padat penduduk (Knedi & Rochayatini, 2018).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, tambang emas sebagai area pertambangan khususnya tambang emas membentuk limbah pencemar yang didalamnya terdapat logam berat sebagai senyawa beracun. Terdapat beberapa metode untuk mengekstrak bijih emas menjadi emas. Untuk memisahkan bijih emas dan emas, maka diperlukan suatu metode kimia. Metode kimia sendiri yakni sebuah metode dengan penggunaan zat-zat kimiawi guna memperoleh emas seperti *carbon in leach*, amalgamasi, *carbon in pulp*, sianidasi, serta *carbon in coloumn*. Peralatan dengan bentuk gelundungan (drum) maupun penggunaan peralatan dengan batang besi ataupun bola baja didalamnya banyak digunakan untuk pengelolaan bijih dengan metode amalgamasi. Proses *crushing* atau yang biasa dikenal dengan penghancuran maupun proses *grinding* dan *milling* atau yang dikenal dengan penggilingan untuk bijih emas menggunakan wadah drum, yang mana wadah tersebut juga berguna untuk mencampur bahan kimia seperti merkuri yang memiliki kegunaan sebagai pengikat emas. Hal ini dikarenakan merkuri memiliki sifat dan katakteristik yang mampu membentuk amalgam (Au-

Hg) yang berguna dalam pemanfaatan pengelolaan bijih emas dan mengikat emas dari bijih emas yang sudah melalui proses penggilingan dan penghancuran.

Merkuri pun dinilai sebagai unsur dengan daya magnetis/afinitas yang jauh lebih baik bagi unsur emas sehingga amalgam dapat terbentuk dengan mudah.

Demikian pun merkuri mampu membentuk emas secara alami bersamaan dengan amalgam (Au_2Hg_3). Amalgam sendiri merupakan paduan dari berbagai logam seperti timah, seng, emas, tembaga, dan perak dengan merkuri yang dibentuk sebagai paduan larutan padat. Apabila merkuri bersamaan dengan logam emas mengalami kontak, maka larutan padat dalam metode amalgamasi dapat terbentuk (Mitchell et al., 1997).

Pada awal mula proses pengelolaan bijih, masyarakat menggunakan penggiling dan gelundung tromol guna memproduksi material ampas sisa yang dikenal sebagai tailing. Umumnya, material sisa ini masih dapat berkali-kali diolah. Diperlukan penggunaan wadah untuk menampung tailing perolehan penggilingan pertama yang telah dicampuri air raksa guna diolah kembali. Sementara, penggilingan akan kembali dilakukan pada perolehan dari penggilingan kedua yang diduga memiliki kandungan emas. Di tempat lain untuk mendapatkan peraknya, namun ada juga di beberapa lokasi, material sisa yang kandungan peraknya kecil akan dilakukan pembuangan melalui cara menyalurkannya pada air yang mengalir maupun torehan air (Aziz, 2014).

Berbagai kegiatan manusia menghasilkan limbah baik limbah organik maupun anorganik, dan Sebagian sungai sudah menjadi korban tempat pembuangan limbah. Menurut (Purnawan et al., 2013), ada berbagai cara masuknya logam berat ke dalam area ekosistem perairan, yaitu melalui mekanisme dispersi, pengendapan, maupun pengenceran, selanjutnya organisme yang berkembang pada perairan tersebut akan menyerap logam tersebut, jika ternyata daya terlarut dari komponen yang terbentuk dari asam dan logam pada area perairan seperti hidroksil, klorida dan karbonat lebih kecil dari konsentrasi logam berat, proses pengendapan logam berat akan terjadi. Apabila kandungan logam berat pada perairan lebih besar dari standar baku mutu yang ditetapkan maka dapat dipastikan hal ini jauh dari kata aman. Menurut Kementrian Negara

Kependudukan & Lingkungan Hidup (2014), ciri dan tingkat racun logam berat dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan yakni tingkat racun rendah (Mn & Fe), tingkat racun sedang (Cr, Ni, & Co), dan tingkat racun tinggi (Hg, Cd, Pb, Cu, & Zn).

Logam berat juga terdapat secara alami di wilayah kelautan akibat proses erosi dari tanah dan bebatuan, secara alami melalui; erosi batuan dan tanah, maupun lewat limpasan area perkotaan, limbah perindustrian, serta atmosfer deposisi dan pertanian (Govindasamy et al., 1992).

2.2 Logam Berat

Sebagai produk terestrial, masuknya logam berat ke area perairan dapat dilakukan melalui limbah perindustrian yang berada di dekat pesisir dan dibuang secara langsung. Hal ini memberi korelasi bahwa variasi konsentrasi logam berat setara akan perbedaan dari garis lintang air laut, kedalaman, maupun dari debit air tawar pada sungai yang telah tercemari logam berat (Chiarelli & Roccheri, 2014).

Tingkat racun logam berat di area kelautan menjadi sorotan utama, sebab berpeluang untuk menimbulkan dampak buruk pada sejumlah fauna dan spesies flora, termasuk diantaranya dapat dilakukan melalui rantai makanan dan berpengaruh pada manusia. Selain itu, ada bukti pendukung berupa organisme air yang memiliki penyakit mikroba memiliki keterkaitan dengan keberadaan dari logam berat. Cukup tingginya konsentrasi logam berat dapat bersifat toksik untuk organisme sehingga informasi menyelidiki banyaknya konsentrasi logam berat sebelum menimbulkan dampak pada organisme kelautan sangat penting karena dikhawatirkan akan semakin tinggi hingga melewati batas yang dianjurkan (Boran & Altinok, 2010).

Bioakumulasi ialah proses penentuan kemunculan logam tertentu secara biologis. Jenis logam yang dinilai berpartisipasi pada bioakumulasi proses yakni Hg, As, Cr, Cu, Zn, Cd, & Pb. Terakumulasinya logam berat pada lingkungan, seperti pada sedimen disebabkan oleh logam yang dapat bergabung dengan senyawa anorganik dan organik lewat pembentukan senyawa kompleks maupun proses

adsorpsi. Logam berat bisa menyebabkan dampak buruk pada kesehatan manusia, bergantung dari jumlah paparan dan pada bagian manakah logam berat itu yang memiliki keterikatan ditubuh serta berapa besar dosis paparan yang terjadi.

Dampak racun yang berasal dari logam berat dapat mengganggu proses metabolisme dengan cara menghalangi kerja enzim, menimbulkan alergisitas, bermutagen, teratogen, atau karsinogen bagi makhluk hidup. Hg, Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn merupakan tingkatan toksisitas logam berat pada manusia dari yang paling toksik (Widowati et al., 2008).

Berikut beberapa macam logam berat yang dapat dijumpai di perairan.

a. Kadmium (Cd)

Sebagai logam berat dengan berat atomnya sebesar 112,4 g/mol dan bernomor 48 sebagai nomor atom, titik lebur 321°C, titik didih 767°C, serta massa jenis 8,65 g/cm³, Kadmium memiliki ciri berwarna putih keperakan, mengkilat, bereaksi dengan mudah, jika dipanaskan akan membentuk kadmium oksida, serta tidak larut pada basa. Kadmium (Cd) biasanya dikombinasikan dengan belerang atau dengan nama lain Cd sulfid maupun klor atau dengan nama lain Cd Klorida. Cd²⁺ yang sifatnya tak stabil dapat terbentuk melalui Kadmium (Widowati et al., 2008)

Logam kadmium juga didapat dari aktivitas seperti perindustrian tekstil, perindustrian semen, perindustrian kimiawi, minyak tumpahan, pertambangan, pengelolaan logam, pembakaran bahan bakar, serta produksi dan pemanfaatan pupuk fosfat. Logam tersebut juga sangat dekat dengan aktivitas sehari-hari, contohnya pada alat potografi, permainan anak, fotografi, vinil yang dibuat sebagai tas, ataupun Cd yang menjadi sumber mantel. Kadmium yakni logam yang berasal dari kegiatan alami maupun aktivitas manusia. Secara alamiah, Kadmium berasal dari letusan gunung api, pengendapan atmosferik, bebatuan yang melapuk, dan jasad organisme yang mengalami pembusukan (Darmono, 1995). Kadmium (Cd) berfungsi sebagai elektrolisis, barang pewarna pada industri cat, plastic serta enamel. Kadmium (Cd) diperoleh dalam perindustrian *alloy*, seng yang dimurnikan, pestisida, dan sebagainya (Said, 2008).

Dalam jangka panjang keracunan Cd dapat meracuni beberapa macam organ, seperti hati, paru-paru, tulang maupun khususnya ginjal tempat logam berat biasa terakumulasi. Selama bertahun-tahun logam ini tidak menunjukkan gejala pada penderita. Di lain sisi, dampak toksisitas dapat menimbulkan hipertensi, pengerusakan jaringan testis, kerusakan pada eritrosit, maupun kerusakan pada ginjal (Svehla, 1985).

b. Timbal (Pb)

Sebagai logam lunak berwarna kecoklatan, Timbal atau timah hitam memiliki berat sebesar 207,19 dengan nomor 82 sebagai nomor atom. Timah memiliki berat jenis yang mencapai 11,4gr/ml dengan titik leleh dan titik didih masing-masing sebesar 327,5 °C dan 1725 °C. Logam ini tidak sulit untuk proses pemurniannya, sehingga sering dimanfaatkan oleh manusia dalam bermacam kegiatan seperti kegiatan rumah tangga, tambang, ataupun perindustrian. Senyawa sulfida (PbS) sering dijumpai dalam pertambangan timbal(Reilly, 1991).

Logam Pb memiliki karakteristik racun bagi tubuh manusia serta mampu mendesak dalam waktu lama. Gejala kronis dapat teridentifikasi dengan tanda mual, anemia, nyeri di daerah mulut,serta dapat menyebabkan kelumpuhan. Keracunan yang parah dan mendesak umumnya digejala bersamaan sensasi terbakar di area mulut, hingga terdapat iritasi penyebab diare pada sistem pencernaan (Darmono, 2001). Adanya bentuk ikatan kovalen diantara gugus belerang bersamaan dengan ion-ion Pb^{2+} pada asam amino menyebabkan terhambatnya proses enzimatik. Penghambatan ini menyebabkan terganggunya pembentukan hemoglobin darah (Fardiaz, 1992).

c. Kromium (Cr)

Kromium merupakan elemen alami mendasar yang diperlukan oleh unsur mahluk hidup seperti hewan, tumbuhan dan manusia maupun tanah. Kromium merupakan satu dari beberapa unsur golongan VI B yang merupakan logam transisi dengan karakteristik berwarna abu dan kuat terhadap pengoratan. Kromium memiliki massa jenis seberat 7,19 g/cm³ dengan angka 24 sebagai nomor atom. Ada tiga macam valensi kromium yang terdapat di alam, yakni Kromium (IV), Kromium

(0), serta yang ketiga yakni Kromium (III) yang dinilai sebagai unsur mendasar yang diperlukan guna metabolisme protein, gula, serta lemak dalam reaksi enzimatik oleh tubuh (*Agency for Toxic Substances and Disease, 2008*).

Kromium dapat memasuki air melewati dua perlakuan, yaitu secara alami maupun tidak alami. Krom yang masuk secara tidak alami lebih banyak dipengaruhi oleh kegiatan dan pergerakan manusia. Limbah rumah tangga hingga limbah perindustrian yang dibuang merupakan kegiatan manusia yang erat kaitannya dengan sumber Kromium. Industri yang merupakan kontaminan kromium pelapisan logam ataupun perindustrian baja, proses samak kulit ataupun pelapisan dalam berbagai peralatan, dari alat-alat rumah tangga sampai peralatan permesinan. Krom yang masuk secara alami bisa ditimbulkan oleh berbagai faktor fisika, misalnya pada bebatuan mineral yang mengalami pelapukan atau erosi. Selain itu, air hujan pun dapat membawa turun partikel maupun debu-debu kromium yang ada di udara (Palar, 2004).

Kesehatan dapat terganggu akibat akumulasi kromium dalam jumlah besar ditubuh manusia dan mampu memberi dampak rusaknya sistem organ tubuh. Dampak racun dari Cr mampu menimbulkan kerusakan maupun mengiritasi organ seperti usus, lambung, paru paru, hingga hidung. Melakukan konsumsi besar dari kromium yang terdapat di suatu makanan mampu menimbulkan kerusakan di hati, ginjal sampai berujung pada kematian (Palar, 1994).

d. Arsen (As)

Arsenik ada dalam bentuk 200 mineral, termasuk 60% bagian berupa arsenat, 20% bagian berupa sulfida dan sulfosalts, serta sejumlah lainnya yakni arsenat, arsen murni, arsenida, maupun oksida silikat (Onishi, 1969). Pada kandungan primer dari orpiment (As_2S_3), arsenopyrite ($FeAsS$), dan realgar (As_4S_3), inilah arsen hadir. Bentuk dari arsen itu sendiri biasanya membentuk Realgar dan Orpiment. Kondisi alami lain dapat berupa safforlite ($CoAs$), rammelsbergit ($NiAs_2$), glaucodot ($(CoFe)AsS$), enargite (Cu_3AsS_4), loellingite ($FeAs_2$), kobaltite ($CoAsS$), nicolite ($NiAs$), gersdorffite ($NiAsS$), arsenopyrite ($FeAsS$), dan elemenarsen (Greenwood & Earnshaw, 1989).

Dibawah keadaan tekanan pada perecosisteman akuatik, arsen dioksidasi menjadi pentavalent arsenat (As(V)), sedangkan pada keadaan yang berlawanan, ketika direduksi menjadi trivalent arsenit (As(III)), serta pergerakan dan proses serap dari tanah lempeng, mineral tanah, dan sedimen memiliki ketergantungan dengan bentuk dari arsen itu sendiri. Mikrobial bisa membentuk arsen dalam metilat di bawah kondisi tidak ada oksigen yang berbentuk padat dan dapat memasuki lapisan atmosfer (Nriagu dkk., 2007).

e. Tembaga (Cu)

Sebagai golongan I B yang juga merupakan logam transisi, tembaga bercirikan kemerahan, fleksibel, dan memiliki kemudahan untuk ditempa. Tembaga (Cu) merupakan logam yang memiliki titik leleh dan titik didih masing-masing sebesar 1083 °C dan 2310 °C , dengan angka 29 sebagai nomor atom dan 63,546 sebagai massa atom, serta jari-jari ion Cu (II) dan jari-jari atom masing-masing sebesar 0,96 Å dan 1,173 Å. Menurut Kementerian Kesehatan yang ditetapkan oleh Kep. Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/Per/IV/2010, konsumsi air minum sehari-hari wajib dilakukan pemenuhan atas kelayakan tinggi air minum, serta harus terdapat paling banyak 2,0 mg/L kandungan ion tembaga Cu (II). Apabila Cu (II) melebihi ketentuan baku mutu, dapat bersifat toxic untuk manusia dan kemungkinan menyebabkan kematian. Secara umum, tembaga dalam lingkungan akuatik bersumber dari limbah perindustrian tekstil, pewarna, logam terlapis, baterai, cat, maupun pupuk nitrogen. Logam tembaga pada konsentrasi antara 2,3 hingga 3,0 ppm mampu menyebabkan kematian pada ikan (Palar, 1994).

f. Mangan (Mn)

Mangan mempunyai lambang Mn dengan angka 25 sebagai nomor atom dalam golongan VII pada tabel periodik. Mn adalah logam yang padat kuat dan getas, tidak mudah dicairkan, tetapi mudah teroksidasi. Pencemaran mangan berasal dari batu baterai yang telah digunakan kemudian zat aktif dari batu baterai dibuang ke perairan (Palar, 1994). Pertambangan dan saluran tambang atom adalah contoh lain penyumbang pencemaran mangan (Manahan, 1994).

Apabila konsentrasi mangan di dalam tubuh tinggi maka akan beracun, namun manusia juga membutuhkan Mn untuk bertahan hidup. Setelah diserap oleh tubuh, Mn akan diangkut ke hati, ginjal, pankreas, dan kelenjar endokrin. Sistem saraf pusat dapat terganggu apabila mangan dikonsumsi dalam jangka waktu panjang. Efek keracunan mangan antara lain gangguan jiwa, kerusakan saraf, gejala gangguan otak dan perilaku abnormal (Pallar, 1994).

g. Besi (Fe)

Menurut Apriani pada tahun 2011, ferrum (Fe) yang merupakan penamaan kimia dari besi, merupakan satu dari sekian banyak jenis logam dengan jumlah terbesar yang dapat ditemukan di kerak bumi, barang tambang dengan warna putih keperakan, tidak kaku dan mudah untuk dibuat menjadi beragam bentuk. Hal ini dapat ditemukan di alam dalam bentuk hematite. Besi dinilai sebagai logam yang cukup aktif secara kimiawi, dikarenakan unsur-unsur lain mampu bersenyawa dengan cobalta besi. Dewasa ini, besi banyak dimanfaatkan sebagai campuran dalam pembuatan logam yang dipadukan seperti besi tempa, besi tuang, baja, dan lain sebagainya untuk keperluan pembangunan, pembuatan peralatan dari logam, rangka mesin dan kendaraan, serta hal lain yang terkait. Besi (Fe) juga merupakan mineral yang sanagat banyak ditemukan dalam air yang dalam jumlah besar dapat memicu adanya gangguan lingkungan. Kemudian, jika ditemukan dalam jumlah berlebih pada tubuh manusia maka akan memiliki sifat sebagai toksik (Kacaribu, 2008).

h. Cobalt (Co)

Unsur kimia yang masuk dalam golongan transisi VIII B dengan lambang Co dan memiliki nomor atom 27 yang lebih dikenal dengan Cobalt banyak tersedia dalam berbagai formulasi, misalnya kawat maupun kertas perak. Pada hasil sampling produksi, logam berat Co ditemukan banyak berikatan dengan tembaga, biji besi, perak, nikel, dan timbal. Cobalt juga sering dimanfaatkan untuk bahan campuran pada magnet, alat pemotongan maupun penggilingan, mesin pesawat, pewarna kaca, cat maupun keramik. Adanya sediaan unsur kimia kobalt ditemukan pada bermacam formula misalnya kertas perak dan kawat. National Sediment Quality

Survey USSPA (2004) mengatakan bahwa konsentrasi logam Co yang diperbolehkan ada dalam sedimen yaitu sebanyak 50,57-158,13 ppm.

i. Perak (Ag)

Perak yakni logam putih, liat dan mampu ditempa, secara komersial merupakan logam berharga. Lambang unsurnya Ag, yang berasal dari bahasa Latin Argentum. Perak termasuk golongan 1B dalam sistem periodik dengan angka 47 sebagai nomor atom dan 107,8682 sebagai nomor massa (Vogel, 1990). Logam ini mempunyai titik leleh dan titik didih masing-masing sebesar 1235 Kelvin dan 2485 Kelvin serta kerapatan yang sangat tinggi yaitu 10,5 gr/mL. Secara kimia perak termasuk logam mulia.

Logam perak tidak dapat dilarutkan pada HCl ataupun H_2SO_4 (1M atau 2M), tetapi memiliki sifat larut ketika bersinggungan dengan HNO_3 pekat (8M) dan asam sulfat panas. Logam ini tak mengalami oksidasi jika dipanaskan, namun dapat dioksidasikan secara kimia guna membentuk oksidator seperti oksida perak. Kegunaan perak pada umumnya banyak digunakan dalam bentuk campuran bersama logam lain. Logam Ag bersamaan dengan Cu banyak digunakan sebagai bahan membuat koin. Perak juga digunakan dalam industri elektronik karena dikenal sebagai pengantar arus yang baik. Senyawa-senyawa perak banyak digunakan sebagai anti infeksi, senyawa tersebut adalah perak nitrat ($AgNO_3$) merupakan garam yang mudah larut dalam air, yang digunakan sebagai antiseptik pada luka bakar.

j. Seng (Zn)

Pada hampir seluruh jaringan yang terdapat pada hewan, Seng (Zn) sangat mudah untuk ditemukan. Namun, jumlah terbesar lebih banyak ditemukan pada bulu, rambut, dan kulit yang merupakan jaringan epidermal. Sementara jumlah paling sedikit ditemukan pada enzim, tulang, darah, maupun otot. Pada bagian tulang lebih besar terakumulasikan unsur Seng (Zn) dibandingkan dengan organ utama penimbun mineral mikro seperti hati. Richards, (1989) dalam dalam Brown, (2004). Meskipun jumlahnya cukup sedikit pada enzim, Seng dinilai sebagai komponen krusial pada enzim, misalnya dalam sel darah merah yang ditemukan

berupa karbonik-anhidrase maupun karboksi peptidase dan dehidrogenase yang ditemukan pada hati. Seng dinilai berfungsi meningkatkan pergerakan enzim dengan melihat fungsinya sebagai kofaktor. Sayangnya, asam fitrat yang mengikat ion logam mengakibatkan kurangnya ketersediaan seng pada protein nabati sehingga sukar dimanfaatkan tubuh dibanding seng yang terdapat pada protein hewani (Mills, 1987 dalam Sharma 2006).

k. Nikel (Ni)

Nikel memiliki nomor atom 28, dengan angka 58,69 sebagai massa atom, terletak pada periode 4 dan golongan VIIIB pada tabel periodik. Nikel akan melebur dalam suhu 1455°C, serta memiliki sedikit sifat daya tarik (Vogel, 1979).

Kegiatan-kegiatan seperti peleburan dan pepaduan logam (*alloying*), sarap bekas pembakaran, pembakaran bahan bakar fosil, maupun asap industri tembakau dapat menjadi faktor pembentukan nikel. Nikel sering dijumpai sebagai koloid di lingkup perairan. Akan tetapi beberapa diantaranya larut dalam air seperti nikel nitrat, klorida, maupun nikel ammonium sulfat yang merupakan garam-garam nikel. Presipitasi juga dapat terbentuk dari aktivitas nikel dalam pembentukan senyawa kompleks bersama dengan sulfat, karbonat dan hidroksida pada saat pH dan aerob terukur kurang dari 9. Nikel tidak dapat dilarutkan pada kondisi anaerob (Darmono, 1995).

Akumulasi nikel secara terus-menerus mampu menyebabkan fatalitas pada paru-paru, asma, bronkitis, kerusakan pada ginjal serta gangguan gastroinstertinal seperti diare, muntah, dan mual. Tidak hanya itu, kulit yang terpapar nikel mampu menyebabkan reaksi eksema berupa gatal dan kemerahan pada sekitar tangan yakni jari, lengan, maupun pergelangan tangan (Mukono, 2009).

2.3 Plankton

Plankton merupakan organisme mikro yang tampak berterbangan pada kolom daerah perairan. Perhatian lebih terhadap keanekaragaman plankton harus dilakukan guna mencapai tujuan meneliti lebih lanjut tingkat kesuburan dari suatu perairan yang dapat diketahui dengan mengidentifikasi keanekaragaman plankton

di ekosistem perairan. Sehingga, hasilnya dapat dipahami apakah taraf subur dari perairan itu masuk dalam kategori oligotrofik ataupun kategori eutrofik, yang dalam hal ini sangat erat hubungannya dalam segi pemanfaatan. (Lehmusluoto, 1977; Odum, 1994).

Hal ini disebabkan karena Russel (1970) pun mengatakan bahwa lingkungan yang baik untuk pemanfaatan budidaya peikanan yakni lingkungan perairan yang masuk dalam kategori eutrofik.

Penggolongan plankton dibagi menjadi dua kelompok besar yakni zooplankton dan fitoplankton. Fitoplankton yang merupakan plankton nabati memiliki fungsi sebagai produsen oksigen pada fotosintesis sehingga dikenal sebagai produsen utama pada ekosistem perairan. Sementara zooplankton yang merupakan plankton hewani dikenal sebagai konsumen tingkat I pada setiap ekosistem perairan (Asriyana & Yuliana, 2012).

Keadaan biologi, kimia, dan fisika dari suatu perairan mampu menjadikan plankton memiliki penyebaran dan akumulasi plankton yang berbeda-beda. (Widianingsih et al., 2010) juga mengatakan jika penyebaran dan akumulasi yang berbeda dipengaruhi oleh faktor dalam suatu perairan seperti tingkat exposure, kedalaman, arah arus maupun kecepatannya, oksigen terlarut dan nutrisi, suhu, serta salinitas.

Dikenal juga memiliki sifat autotrof, fitoplankton dapat memproduksi oksigen yang berguna untuk digunakan oleh organisme lain, yang membuatnya memiliki peran krusial untuk menopang tingkat produktivitas perairan. Kelimpahan fitoplankton dipengaruhi oleh parameter lingkungan (Lukman dkk., 2006). Sebagai organisme yang memiliki sel tunggal dengan rasio volume yang tidak lebih besar dibandingkan dengan luas permukaannya, membuat fitoplankton mampu berkumulasi secara tinggi dalam tempo singkat pada zat organik maupun anorganik menjadikan fitoplankton dipilih menjadi bio indikator kuantitatif (Kullenberg, 1987), Tempo yang dibutuhkan fitoplankton yakni terhitung dalam hitungan menit sampai beberapa jam, juga menjadikan fitoplankton sebagai rantai awal makanan untuk organisme lain di perairan dengan tingkat yang lebih tinggi.

Disisi lain, zooplankton dikenal sebagai kelompok dengan beragam varian hewan yang hampir mewakili seluruh *phylum* dan masuk dalam *animal kingdom* yang terdiri dari molusca, protozoa, coelenterata, crustacea, dan annelida. Organisme tersebut ada yang bersifat holoplankton seperti Copepoda spp ataupun bersifat meroplankton seperti Kepiting (*crab*) dan trisipan (*bernacle*) yang larvanya memiliki sifat plankton. Kemudian larva maupun Crustaceae dewasa lebih sering ditemukan pada kelompok zooplankton. Beberapa organisme ini ada yang bersifat sebagai plankton dalam seluruh masa hidupnya (holoplankton), misalnya yaitu Copepoda spp. Larva maupun bentuk dewasa dari Crustacea sangat banyak dijumpai dalam kelompok zooplankton. (Hutabarat dan Evans, 2014).

Kompleksitas pada rantai makanan di lingkup area perairan sangat dipengaruhi oleh fungsi zooplankton yang menjadi mata rantai antara produsen utama dengan hewan pemakan daging baik yang besar maupun kecil (Akoto dkk., 2008).

2.4 Penyerapan Logam pada Plankton

Dua jalur berupa adsorpsi dan absorpsi menjadi jalur terserapnya logam berat yang dilakukan oleh fitoplankton (Moreno-Garrido et al., 2000). Menurut Das et al., (2008), ion logam dapat terikat melalui polisakarida dan protein yang terdapat pada dinding sel fitoplankton. Kemudian, setelah dinding sel terlewati, maka melalui membran sel, logam akan masuk menuju bagian dalam sel (Kumar et al., 2006). Logam yang memiliki sifat lipofilik disebut sebagai logam yang mampu melalui membran sel, sementara itu, jika logam non-lipofilik ingin masuk dalam sel fitoplankton, maka akan melewati proses difusi dipermudah (*facilitated diffusion*). Lapisan lipid bilayer dapat terlintasi hingga mampu samapi pada organel sel dan enzim yang ada dalam sitoplasma plankton melalui ion logam yang terikat pada protein membran sel. (Das et al., 2008; Purbonegoro, 2008). Terjadinya akumulasi logam berat pada zooplankton dapat terjadi ketika zooplankton memangsa fitoplankton yang sudah terakumulasi oleh logam berat.

Menurut Harteman (2011), organisme yang memiliki ukuran besar lebih sulit untuk mengakumulasi logam berat daripada plankton yang merupakan organisme mikro. Hal ini disebabkan karena organisme yang lebih besar justru

memiliki luas permukaan yang lebih rendah dibandingkan plankton sehingga akumulasi yang tinggi pada zat organik maupun anorganik mampu terjadi dalam kurun waktu yang singkat yakni hanya dalam hitungan menit hingga beberapa jam saja (Kullenberg, 1987).

2.5 Faktor Biokonsentrasi

Connell & Miller (2006) memberi pendapat terkait biokonsentrasi, yakni proses yang dapat dilalui lewat kulit maupun insang sebagai jaringan sebagai celah langsung masuknya pencemar dari air yang dilakukan oleh mahluk hidup. Sementara itu, bioakumulasi merupakan proses yang dapat dilalui dari suatu lintasan maupun mekanisme tertentu sebagai celah masuk bahan pencemar di suatu lingkungan oleh mahluk hidup. Kemudian, istilah terkait biomagnifikasi yakni suatu alur dimana terjadi peningkatan bahan pencemar sejalan dengan adanya peningkatan posisi mahluk hidup di suatu rantai makanan.

Faktor biokonsentrasi dinilai sebagai tingkat kemungkinan terserapnya bahan kimia oleh organisme-organisme akuatik. Faktor biokonsentrasi yakni pebandingan dari konsentrasi kimiawi pada suatu organisme perairan dengan konsentrasi kimiawi di suatu perairan (LaGrega et al., 2001). Faktor biokonsentrasi (BCF) dijadikan alat untuk menganalisis dan mengkaji logam di perairan yang dapat diakumulasi oleh plankton. Analisis tersebut didasarkan pada rasio kandungan logam berat yang terdapat dalam plankton faktor biokonsentrasi dilakukan berdasarkan kandungan logam berat dalam plankton dengan kandungan logam berat yang ada pada laut maupun sedimen. Hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut (Connell & Miller, 2006):

$$BCF = \frac{K_b}{C_w}$$

Dimana:

K_b = Konsentrasi logam berat dalam organisme (mg/kg atau ppm)

C_w = Konsentrasi logam berat dalam air (ppm)

BCF = Faktor Biokonsentrasi

2.6 ICP-OES

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 & 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 & Fredeen, 2004).

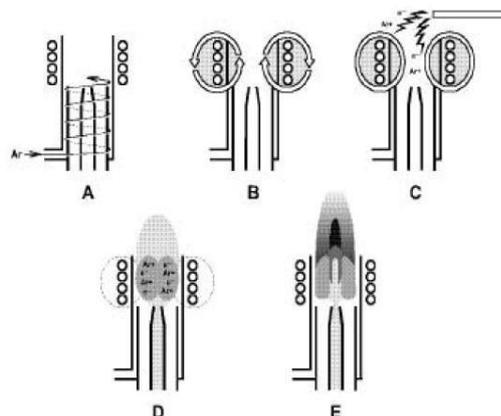
1. Prinsip Kerja

Teknik dasar dari ICP-OES yaitu Emisi spontan foton dari atom dan ion yang telah dieksitasi 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 1, sehingga aerosol cepat menguap. Elemen analisis dibebaskan sebagai atom bebas dalam keadaan gas. Lebih jauh, eksitasi tabrakan di dalam 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 (Hou & Jones, 2000).

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 di dalam 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 & 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 2). 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 1. 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 & Fredeen, 2004).

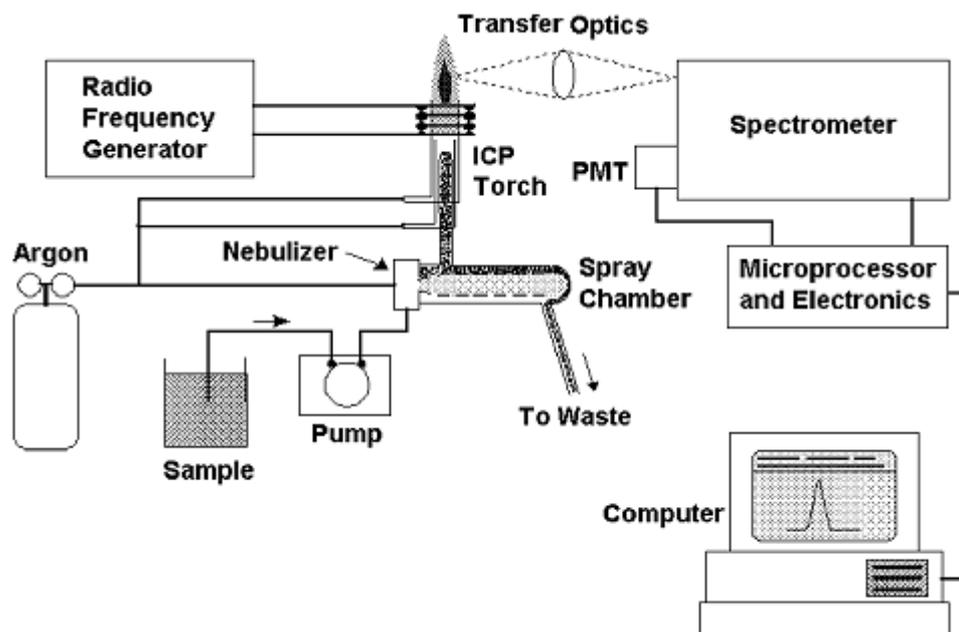


Keterangan :

- A. Gas argon berputar melalui torch
- B. Daya RF diaplikasikan 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 1. Urutan pengapian penampang *torch* dan *load coil* (Boss & Fredeen, 2004)

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



Gambar 2. Komponen utama serta susunan instrumen ICP-OES (Boss & Fredeen, 2004).

Pada *inductively couple plasma – optical emission spectrometry* sampel ditransportasikan ke instrumen dalam bentuk cairan. Proses nebulisasi mengubah 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 & Fredeen, 2004).

3. Kekurangan dan Kelebihan ICP-OES

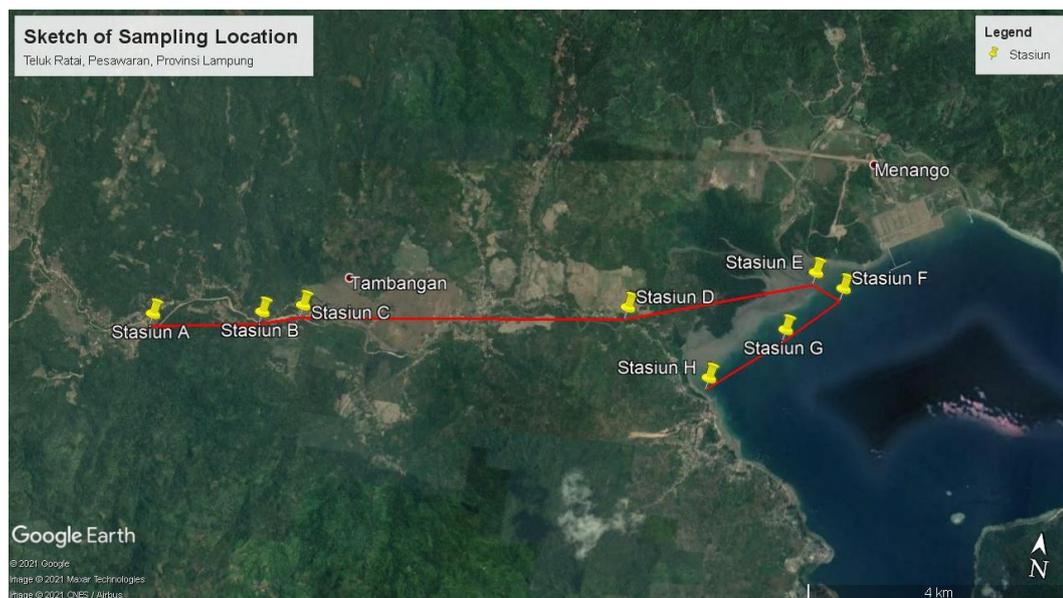
Kekurangan utama dari ICP-OES adalah sampel hanya berupa sampel cair, sehingga sampel padat harus dipreparasi dengan digesti asam untuk dilarutkan menjadi cairan. Walaupun ICP-OES dapat mendeteksi semua unsur kecuali argon, tetapi beberapa unsur tidak stabil dan ICP memiliki kesulitan dalam analisis 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).

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

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dimulai dari bulan November 2020 sampai Februari 2021 di sekitar perairan Teluk Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, dan didanai oleh Sustainable Regional Innovations for Reducing Environmental Pollutions (SRIREP) studies Unila-RIHN 2020. Penelitian dilaksanakan dengan cara observasi langsung di lapangan dan hasil kandungan logam dari pengukuran dengan metode ICP-OES akan dianalisis secara deskriptif. Terdapat 8 lokasi stasiun dengan masing-masing stasiun akan diambil 2 titik dengan jarak masing-masing titik ialah 500 m. Adapun sketsa lokasi pengambilan sampel di Teluk Ratai dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sketsa lokasi pengambilan sampel Teluk Ratai (Google Earth, 2021).

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel

Stasiun	Lokasi	Lintang Selatan	Bujur Timur
1	Sungai Desa Bunut Seberang Kecamatan Padang Cermin	5°36'39.5"S	105°05'31.5"E
2	Sungai Desa Khepong Jaya	5°36'30.4"S	105°06'26.0"E
3	Sungai Desa Way Urang Kecamatan Padang Cermin	5°36'24.0"S	105°06'46"E
4	Sungai Desa Sanggi Pematang Awi	5°36'24.0"S	105°06"E
5	Muara Sungai	5°35'29.0"S	105°11'01.0"E
6	Pesisir Teluk Ratai	5°35'35.0"S	105°11'16"E
7	Pesisir Teluk Ratai	5°36'00.0"S	105°10'50.0"E
8	Pesisir Teluk Ratai	5°36'30.0"S	105°10'15.0"E

Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Biomolekuler, Jurusan Biologi, Fakultas Ilmu dan Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Identifikasi plankton dilakukan di Laboratorium Zoologi, Jurusan Biologi, Universitas Lampung, sedangkan pengujian logam berat sampel dilakukan menggunakan ICP-OES di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu plankton net 25, *cool box*, plastik *zipper*, kertas saring, *tissue*, tabung reaksi, gelas ukur, pipet tetes, gelas objek, mikroskop, thermometer, GPS, dan alat ICP-OES (Varian 715-ES). Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu sampel plankton, formalin 4%, batu es, aquabidest, dan HNO₃ 76%.

3.3 Prosedur Kerja

1. Pengambilan sampel

a. Plankton

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 2 titik pada setiap stasiun dengan jarak 500 m dari titik pertama. Langkah pertama yang dilakukan yaitu

menentukan titik koordinat lokasi pengambilan sampel menggunakan GPS, mengambil sampel air sebanyak 1 liter diatas permukaan, lalu air tersebut disaring menggunakan plankton net 25, dimasukkan kedalam botol film 50 ml, selanjutnya sampel plankton diawetkan dengan diberi 3 tetes formalin 4%, dan disimpan di dalam coolbox (Afriyanti, 2018).

b. Air

Pengambilan sampel air dilakukan dengan menggunakan metode pengambilan sampel air berdasarkan SNI 6989.57:2008 air dan air limbah-bagian 57 tentang pengambilan contoh air di permukaan. Sampel air diambil menggunakan botol plastik yang sudah dibersihkan lalu di simpan dalam coolbox.

2. Preparasi sampel

a. Plankton

Sampel plankton dan air laut didestruksi dengan cara mengambil 25 ml sampel lalu diberi HNO_3 76% sebanyak 3 tetes lalu disaring menggunakan kertas saring hingga bersih, kemudian dimasukkan ke dalam botol film. Selanjutnya sampel dianalisis menggunakan ICP-OES, untuk melihat konsentrasi logam berat timbal (Pb), kromium (Cr), kadmium (Cd), besi (Fe), kobalt (Co), zink (Zn), perak (Ag), nikel (Ni), mangan (Mn), dan tembaga (Cu) (Afriyanti, 2018).

b. Air

Sebanyak 10 mL sampel air dimasukkan ke dalam labu destruksi dengan menggunakan pipet 10 mL. Kemudian diberi 0,2 mL HNO_3 dan 0,1 mL HCL dan dihomogenkan. Selanjutnya sampel dipanaskan menggunakan hot plate dengan suhu 95°C dalam 30 menit. Sampel kemudian didinginkan, dan dipindahkan ke dalam labu takar 10 mL menggunakan pipet 10 mL. Jika terdapat endapan, dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring. Sampel ditambahkan aquades sampai volume sampel menjadi 10 mL dan dipindahkan ke dalam botol HDPE 50 mL. Sampel

siap untuk dianalisis dengan menggunakan instrumen Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) (EPA, 2007)

3. Analisis kadar logam berat menggunakan ICP-OES

Sampel yang sudah dilakukan preparasi, selanjutnya dianalisis menggunakan ICP-OES untuk mendapatkan hasil logam berat pada sampel tersebut. Setelah sampel disiapkan, perangkat keras diatur dengan benar, dan komputer diprogram, selanjutnya analisis akan dimulai. Biasanya analisis dimulai dengan memperkenalkan larutan standar pertama ke plasma dan menekan tombol di komputer. Begitu analisis sampel selesai, hasil data analisis dapat terlihat di perangkat komputer yang terhubung dengan ICP OES (Ghosh dkk., 2013).

4. Analisis biokonsentrasi faktor (BCF) pada plankton.

Analisis faktor biokonsentrasi dilakukan berdasarkan kandungan logam berat dalam plankton dibagi dengan logam berat yang terkandung di dalam laut atau sedimen. Faktor biokonsentrasi dihitung dengan rumus sebagai berikut (Connell & Miller, 2006):

$$BCF = \frac{Kb}{Cw}$$

Dimana:

Kb = Konsentrasi logam berat dalam organisme (mg/kg atau ppm)

Cw = Konsentrasi logam berat dalam air (ppm)

5. Identifikasi Plankton

Identifikasi plankton dilakukan dengan cara mengambil sampel plankton menggunakan pipet tetes, lalu diteteskan pada *object glass*, dan dilihat melalui mikroskop. Plankton yang ditemukan lalu diidentifikasi berdasarkan morfologi, menggunakan acuan buku identifikasi plankton dari Davis (1955).

6. Pengamatan

Berikut ialah parameter penelitian logam berat yang akan diamati berupa Ag, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, Co, Fe dan Mn. Baku mutu yang digunakan yaitu baku mutu logam berat yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup No 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, ANZECC/ARMCANZ 2000 (Australian and Newzealand Guideline For Fresh and Marine Water Quality) dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah didapat dapat disimpulkan bahwa

1. Pada perairan Teluk Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung terdapat 77 jenis plankton antara lain 37 jenis fitoplankton dan 4 jenis zooplankton sungai, serta 36 jenis fitoplankton pesisir dengan teridentifikasi sebanyak 14 kelas yaitu Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae, Euglenophyceae, Prymnesiophyceae, Dictyochophyceae, Mediophyceae, Raphidophyceae, Ulvophyceae, Zygnematophyceae, Rhizopoda, Lobosea, dan Litostomatea.
2. Kandungan logam Fe, Mn, Zn Cd, Ni, Ag dan logam Pb melebihi batas baku mutu yang telah ditetapkan. Dengan kandungan tertinggi terdapat pada logam Fe sebesar 1.248 mg/L pada stasiun H.
3. Urutan nilai faktor biokonsentrasi yang didapat berdasarkan hasil perhitungan yaitu logam Fe>Mn>Cd>Pb>Zn>Cu>Co>Ag sedangkan logam Cr dan Logam Ni tidak terdeteksi. Dengan nilai faktor biokonsentrasi tertinggi terdapat pada logam Fe yaitu sebesar 12,96 pada stasiun G.

5.2 Saran

Perlu dilakukan monitoring secara berkala terhadap kandungan logam berat pada biota di air sungai dan laut dan perairannya, sebagai salah satu upaya untuk menjaga lingkungan sekitar perairan Sungai Way Ratai Kabupaten Pesawaran Lampung.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidjulu, J. 2008. Analisis kualitas air Sungai Tanoyan di Kota Kotamobagu Provinsi Sulawesi Utara. *Chemistry Progress*, 1(2), 105–110.
- Agency for Toxic Substances and Disease. 2008. *Toxicological Profile for Chromium*. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta.
- Akoto, O., T.N. Bruce., G. Darkol. 2008. Heavy Metals Pollution Profiles in Streams Serving the Owabi Reservoir. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2 (11): 354-359.
- Arifin, Z. 2011. *Konsentrasi Logam Berat di Air, Sedimen dan Biota di Teluk Kelabat, Pulau Bangka*. 3(1).
- Asriyana, & Yuliana. 2012. *Produktivitas Perairan*. PT Bumi Aksara. Jakarta. 278hlm.
- Aziz, M. 2014. Model Pertambangan Emas Rakyat dan Pengelolaan Lingkungan Tambang di Wilayah Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. *Dinamika Rekayasa*, 10(1), 20–28.
- Boran, M., & Altinok, I. 2010. A review of heavy metals in water, sediment and living organisms in the black sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(4), 565–572. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0418>
- Boss, C. B., & Fredeen, K. J. 2004. *Concept, Instrumentation, and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (Third Edit). Perkin Elmer Inc.
- Brown, J.X., P.D. Buckest, and M.W. Resnick. 2004. *Identification of small molecule inhibitors that distinguish between non-transferrin bound iron uptake and transferrin-mediated iron transport*. *Chem. Biol.* 11:407–416.
- Bryan, G. W. 1976. *Heavy metal contamination in the sea: Effects of pollutants on aquatic organisms* (I. R. Johnston (ed.)). Cambridge University press. Cambridge.

- Chiarelli, R., & Roccheri, M. C. 2014. Marine Invertebrates as Bioindicators of Heavy Metal Pollution. *Open Journal of Metal*, 04(04), 93–106. <https://doi.org/10.4236/ojmetal.2014.44011>
- Connell, & Miller. 2006. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI Press. Jakarta.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemarannya: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI Press. Jakarta.
- Das, N., Vimala, R., & Karthika, P. 2008. *Biosorption of heavy metals – An overview*. 7(April), 159–169.
- Dianthani, D. 2003. Identifikasi Jenis Plankton Di Perairan Muara Badak, Kalimantan Timur. *Makalah Falsafah Sains (PPs 702) Program Pasca Sarjana/S3 Institut Pertanian Bogor, PPs 702*.
- Djuanda. 2007. *Ilmu Penyakit Kulit dan Kelamin* (FKUI (ed.); Edisi 5).
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius. Yogyakarta.
- Govindasamy, C., Kannan, R., Ganesan, M., Rajendran, K., Sampathkumar, P., & Kannan, L. 1992. Tissue concentration of heavy metals in seagrasses of the Palk Bay, Bay of Bengal. *International Journal of Ecology & Environmental Sciences*, 18(1), 29–34.
- Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. 1989. *Chemistry of the Elements*. Pergamon Press. New York.
- Hou, X., & Jones, B. T. 2000. *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry in Encyclopedia Of Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons Ltd. Chicester.
- Hutabarat, S., dan Evans S. M., 2014. *Pengantar Oseanografi*. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta. 159 hlm
- Israwati, Effendy, I. J., & Patadjai, A. B. 2018. Komposisi Jenis dan Kepadatan Bentik Diatom pada Kolektor dan Kaki / otot Abalon (*Haliotis asinina*) yang Dipelihara di Kawasan Sistem IMTA (Integrated Multi Trophic Aquaculture) Out Door. *Media Akuatika*, 3(1), 544–555.
- Kacaribu, K. 2008. *Kandungan Kadar Seng (Zn) dan Besi (Fe) dalam Air Minum dari Depo Air Minum Isi Ulang Air Pegunungan Sibolangit di Kota Medan*. Universitas Sumatra Utara.
- Knedi, J., & Rochayatini. 2018. *Direktori Perusahaan Pertambangan dan Energi*

- Provinsi Lampung 2018*. BPS Provinsi Lampung. Lampung. 24hlm.
- Kullenberg, G. 1987. *Pollutant Transfer and Transport In The Sea* (V. II). CRC Press. Florida.
- Kumar, K. K., Prasad, M. K., Sarma, G. V. S., & Murthy, C. V. R. 2006. *Biosorption studies for removal of chromium using immobilized marine alga Isochrysis galbana*. 35(September), 263–267.
- LaGrega, M. D., L., P. B., Evans, J. C., & Environmental, R. M. 2001. *Hazardous Waste Managemen* (Second Ed.). McGraw Hill Interntional Edition. New York.
- Lukman, Sulastri, D.S. Said, T. Tarigan, & T. Widiyanto. 2006. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2006 “Pengelolaan Sumberdaya Perairan Darat secara terpadu di Indonesia*. Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. Bogor.
- Manahan, S. E., 1994, *Environmental Chemistry*, Sixth Edition, Lewis Publishers, United State of America
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2014. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor Kep- 1815/MenLH/V/2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. Republik Indonesia.
- Mills, C. F. 1989. *Zinc in Human Biology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York.
- Mitchell, C. J., Evans, E. J., & Styles, M. T. 1997. A review of gold particle-size and recovery methods. *Methods*, 34. <http://nora.nerc.ac.uk/9014/>
- Moreno-Garrido, Lubia, L. M., & Soares, A. M. V. M. 2000. *Influence of Cellular Density on Determination of EC 50 in Microalgal Growth Inhibition Tests*. 116, 112–116. <https://doi.org/10.1006/eesa.2000.1953>
- Nontji, A. 2007. *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta.
- Nontji, A. 2008. *Plankton Laut*. LIPI. Jakarta.
- Nriagu, J. 2007. Zinc Deficiency In Human Health. *School Of Public Health, University Of Michigan*, pp. 1-8.
- Nybakken, J. W., & Bertness, M. D. 2005. *Marine Biology* (6th Ed.). Benjamin-Cummings Publishing Company. San Francisco.
- Odum, E. P. 1998. *Dasar-Dasar Ekologi : Terjemahan dari Fundamentals of Ecology* (Edisi Ketiga). Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta

- Palar, H. 2004. *No Title*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Palar, H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta
- Purbonegoro, T. 2008. *Pengaruh Logam Berat Kadmium (Cd) Terhadap Metabolisme dan Fotosintesis di Laut. Oseana*. Oseana, Vol. XXXIII. No. 1, 25-31.
- Purnawan, S., Sikanna, R., & Prismawiryanti. 2013. Distribusi logam merkuri pada sedimen laut di sekitar muara Sungai Poboya. *Nature Science*, 2(1), 18–24.
- Reilly, C. 1991. *Metal Contamination Food* (2nd Edition). Elsevier Science Publisher Ltd. London.
- Rochyatun, E., Kaisupy, M. T., & Rozak, A. 2006. Distribusi Logam Berat Dalam Air Dan Sedimen Di Perairan Muara Sungai Cisadane. *MAKARA of Science Series*, 10(1), 35–40. <https://doi.org/10.7454/mss.v10i1.151>
- Romimohtarto, K., & Juwana, K. 2009. *Biologi Laut*. Djambatan. Jakarta.
- Said, N. I. 2008. *Teknologi Pengolahan Air Minum: Teori dan Pengalaman Praktis*. PTL-BPPT. Jakarta.
- Salam, A. 2010. “Analisis Kualitas Air Situ Bungur Ciputat Berdasarkan Indeks Keanekaragaman Fitoplankton.” Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Siaka, I. 2008. Korelasi Antara Kedalaman Sedimen di Pelabuhan Benoa dan Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu. *Jurnal Kimia*, 2(2), 61–70.
- Susiati, H., Arman, A., & Susilo, Y. S. B. 2009. Kandungan (Co, Cr, Cs, As, Sc, DAN Fe) Dalam Sedimen di Kawasan Pesisir Semenanjung Muria. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 11(1), 6–12. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jpen/article/view/1430/1360>
- Svehla, G. 1985. *Analisis Kualitatif Anorganik Makro dan Semi Mikro*. Kalman Media Pustaka. Jakarta.
- Van Esch, G.J. 1977. *Aquatic Pollutant and Their Potential Ecological Effects*. In Hutzinger, O., I.H. Van Lelyuccid and B.C.J. Zoetemen, ed. *Aquatic Pollution : Transformation and Biological Effects, Procceding of the 2nd Int. Symp. on Aquatic Pollutans*. Amsterdam. Pergamon Press, New York. p. 1-12.
- Vogel. 1990. *Analisa Anorganik Kualitatif Makro Dan Mikro Bagian II*. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.

- Widianingsih, Hartati, R., Djamali, A., & Sugestiningsih. 2010. Kelimpahan dan Sebaran Horizontal Fitoplankton di Perairan Pantai Timur Pulau Belitung. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 12(1), 6–11. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.12.1.6-11>
- Widowati, W., Sastiono, A., & R., R. J. 2008. *Efek Toksik Logam” Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Andi. Yogyakarta.