

**KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA ALGA HIJAU *Spirogyra* sp.
DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN
PROVINSI LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**FATIMAH ALHAFIZOH
NPM 1717021010**



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

ABSTRAK

KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA ALGA HIJAU *Spirogyra* sp. DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG

Oleh

FATIMAH ALHAFIZOH

Sungai Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung merupakan sungai yang bermuara ke Teluk Ratai dan terdampak logam berat akibat aktivitas pertambangan emas. Beberapa titik di bantaran Sungai Way Ratai terdapat kegiatan pengolahan emas dan *tailing*. Logam tertentu dalam konsentrasi tinggi akan berbahaya jika ditemukan di lingkungan termasuk organisme di dalamnya, salah satunya adalah alga hijau *Spirogyra* sp. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat pada air sungai dan alga hijau *Spirogyra* sp serta kemampuan akumulasinya. Metode yang digunakan adalah deskriptif-eksploratif berupa pengambilan sampel secara acak pada 4 stasiun pengamatan di sekitar Sungai Way Ratai, penelitian dilakukan pada bulan November 2020 – Februari 2021. Analisis kandungan logam dalam air dan *Spirogyra* sp. dilakukan dengan menggunakan instrumen ICP-OES (varian 715-ES). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat dalam *Spirogyra* sp. yaitu Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn pada setiap stasiun berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Sedangkan kandungan logam berat Co tidak terdeteksi. Pada air sungai, kandungan logam berat Ag stasiun A, Cu semua stasiun, Cd dan Fe di stasiun B-D, Pb stasiun C, Mn dan Zn di stasiun D telah melampaui baku mutu air sungai Kelas I dan Kelas 3 PP RI No 22/2021 dan ANZECC & ARMCANS 2000, sedangkan Ag di stasiun B-D dan Pb di stasiun A, B, D tidak terdeteksi. Berdasarkan hasil perhitungan faktor biokonsentrasi (BCF) logam berat pada *Spirogyra* sp, akumulasi logam berat termasuk dalam kategori tinggi hingga sangat tinggi dengan urutan tingkat akumulasi yaitu Mn > Fe > Zn > Cr > Pb > Cu > Cd > Ag.

Kata kunci: alga hijau, *Spirogyra* sp, logam berat, ICP-OES, Sungai Way Ratai

ABSTRACT

HEAVY METAL CONTENT IN GREEN ALGAE *Spirogyra* sp. IN THE WATERS OF WAY RATAI, PESAWARAN REGENCY, LAMPUNG PROVINCE

By

FATIMAH ALHAFIZOH

The Way Ratai River, Pesawaran Regency, Lampung Province is a river that empties into Ratai Bay and is affected by heavy metals due to gold mining activities. Several points along the Way Ratai River have gold and tailings processing activities. Certain metals in high concentrations will be dangerous if found in the environment including the organisms in it, one of which is the green algae *Spirogyra* sp. This study aims to determine the content of heavy metals in river water and green algae *Spirogyra* sp and their accumulation ability. The method used is descriptive-explorative in the form of random sampling at 4 observation stations around the Way Ratai River, the research was carried out in November 2020 - February 2021. Analysis of metal content in water and *Spirogyra* sp. performed using the ICP-OES instrument (variant 715-ES). The results showed that the heavy metal content in *Spirogyra* sp. namely Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn at each station were above the predetermined quality standards. Meanwhile, the heavy metal content of Co was not detected. In river water, the heavy metal content of Ag at station A, Cu at all stations, Cd and Fe at station BD, Pb at station C, Mn, and Zn at station D has exceeded the Class I and Class 3 river water quality standards of PP RI No 22/2021 and ANZECC & ARMCANS 2000, while Ag at stations BD and Pb at stations A, B, D were not detected. Based on the calculation of the bioconcentration factor (BCF) of heavy metals in *Spirogyra* sp, the accumulation of heavy metals is in the high to very high category with the order of accumulation level, namely Mn > Fe > Zn > Cr > Pb > Cu > Cd > Ag.

Keywords: green algae, *Spirogyra* sp, heavy metals, ICP-OES, Way Ratai River

**KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA ALGA HIJAU *Spirogyra* sp.
DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN
PROVINSI LAMPUNG**

Oleh

FATIMAH ALHAFIZOH

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 Skripsi : **KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA ALGA HIJAU *Spirogyra* sp. DI PERAIRAN WAY RATAI KABUPATEN PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Fatimah Alhafizoh**

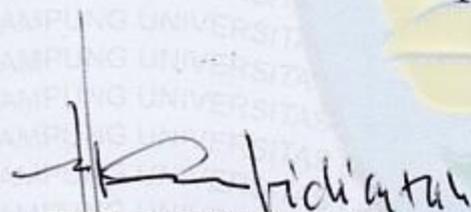
Nomor Pokok Mahasiswa : 1717021010

Program Studi : S1 Biologi

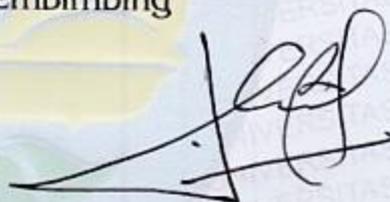
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

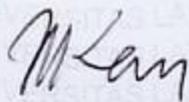


Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.
NIP 196106111986032001



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

2. Ketua Jurusan Biologi

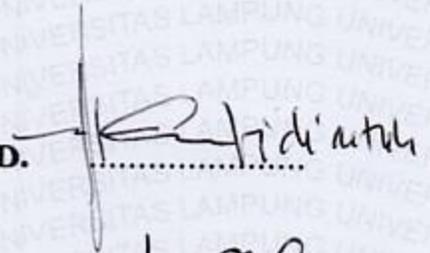


Drs. M. Kanedi, M.Si.
NIP 196101121991031002

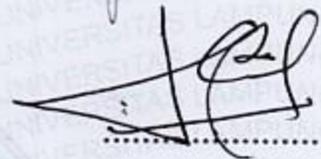
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

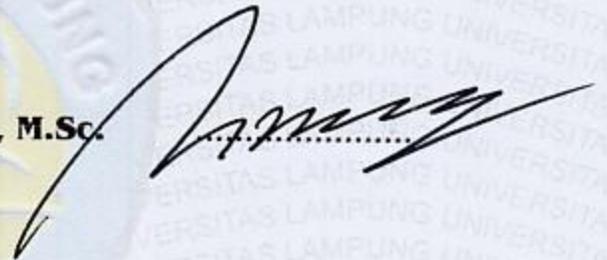
Ketua : **Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.**



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



Anggota : **Dr. G. Nugroho Susanto, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **23 Juli 2021**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fatimah Alhafizoh
NPM : 1717021010
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

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

“KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA ALGA HIJAU *Spirogyra* sp. 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, 4 Agustus 2021

Yang Menyatakan,



(Fatimah Alhafizoh)

NPM. 1717021010

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 18 April 1999 dari pasangan Bapak Hafizotu Al Huda dan Ibu Yosi Arnita, S.Pd. sebagai anak pertama dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan pertama di Taman Kanak-kanak Al Kautsar Bandar Lampung tahun 2004 – 2005. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan dasar di SDN 1 Rajabasa Raya Bandar Lampung tahun 2005 – 2011. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Al Kautsar Bandar Lampung tahun 2011 – 2014. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMA Al Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2014 – 2017. Pada tahun 2017 penulis resmi terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur masuk SNMPTN. 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 sebagai Anggota Bidang Ekspedisi periode 2019. Pada awal tahun 2020 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian LIPI Bogor, Jawa Barat dengan judul “Identifikasi Suku Chelidae di Koleksi Museum Zoologicum Bogoriense, Bidang Zoologi, Pusat Penelitian Biologi – LIPI”. Pada pertengahan tahun 2020 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Kelurahan Rajabasa Raya, Kecamatan Rajabasa, Bandar Lampung.

Kupersembahkan untuk Ibu dan Ayah Tercinta

*"I have come to love myself for who I am, for who I was, and for who
I hope to become." — RM*

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Skripsi dengan judul “*Kandungan Logam Berat pada Alga Hijau Spirogyra sp di Perairan Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung*” ini didana oleh SRIREP (*Sustainable Regional Innovations for Reducing Environmental Pollutions*) Studies Universitas Lampung dan bekerja sama dengan RIHN (*Research Institute for Humanity and Nature*) tahun 2020. Skripsi ini adalah 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. Selama penulisan skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk, dan saran dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M. T., selaku Dekan FMIPA Unila;
2. Bapak Drs. M. Kanedi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi FMIPA Unila;
3. Ibu Kusuma Handayani, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi, Jurusan Biologi, FMIPA Unila;

4. Ibu Endang Linirin Widiastuti, Ph.D., selaku pembimbing utama atas kesediaannya untuk meluangkan waktu dan pikiran dalam membimbing, memberikan ide, saran dan kritik pada penulis dari awal perencanaan penelitian sampai penyelesaian penyusunan skripsi ini;
5. Bapak Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D., selaku pembimbing kedua atas kesediaannya untuk meluangkan waktu dan pikiran dalam membimbing, memberikan ide, saran dan kritik pada penulis dari awal perencanaan penelitian sampai penyelesaian penyusunan skripsi ini;
6. Bapak Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc., selaku pembahas dan penguji utama dalam ujian skripsi, terimakasih atas masukan, saran, dan nasihat yang membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini menjadi lebih baik;
7. Ibu Dra. C. N. Ekowati, M.Si., selaku pembimbing akademik atas bimbingannya kepada penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi;
8. Kepada seluruh dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Biologi 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 ayah dan ibu serta adik-adik penulis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan nasehat dari segi moral, spiritual, dan materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
10. Kawan-kawan seperjuangan dalam penelitian ini yaitu metals team Anisa Danyatul Afifa, Enisantaria Br Manik, dan Rizka Ayu Assyifa tak lupa

pula kepada Mba Ellen Larasati dan Retno Firtianingsih yang telah membantu pelaksanaan penelitian, menyemangati dan memberi dukungan penuh baik dalam suka maupun duka pada penulis hingga dicetaknya skripsi ini;

11. Sahabat-sahabatku tersayang, Nuri Oktavia, Mayda Lutfiana, Citra Andika Pratama Saputra dan juga adik sekaligus temanku Jensa Yuswanto terima kasih atas semangat, dukungan, tawa dan kekuatan yang diberikan pada penulis hingga akhir penulisan skripsi ini;

12. Umilia Fitriyani, Aprilia Eka Putri, Lisa Maryani, Niken Ayuandira sebagai teman yang selalu memberi dukungan dan semangat pada penulis dalam melaksanakan penelitian hingga menyelesaikan skripsi ini;

13. Seluruh teman seperjuangan, Biologi angkatan 2017 atas bantuan dan kerjasamanya selama perkuliahan, dukungan serta semangat selama penulis menyelesaikan penulisan skripsi;

14. Kakak dan adik tingkat, serta semua yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu

15. Kepada BTS (RM, Jin, Suga, Jhope, Jimin, V, Jungkook) terima kasih atas lagu dan kata motivasi kalian yang telah menjadi teman dan penyemangat selama mengerjakan skripsi ini.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan sehingga besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca, dan bagi pengembangan ilmu pengetahuan, Aamiin.

Bandar Lampung, 4 Agustus 2021

Fatimah Alhafizoh

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Kerangka Pemikiran	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pencemaran Logam Berat	6
2.2 Logam Berat	8
2.2.1 Timbal (Pb)	9
2.2.2 Kadmium (Cd)	10
2.2.3 Tembaga (Cu)	11
2.2.4 Kromium (Cr)	11
2.2.5 Seng (Zn)	12
2.2.6 Perak (Ag)	13
2.2.7 Kobalt (Co)	13
2.2.8 Besi (Fe)	14
2.2.9 Mangan (Mn)	15
2.2.10 Nikel (Ni)	15
2.3 Alga	16
2.3.1 Pengertian Alga	16
2.3.2 Alga Hijau (Chlorophyta).....	16
2.3.3 <i>Spirogyra</i> sp.....	17
2.3.4 Alga sebagai Adsorben Logam Berat.....	18
2.4 Mekanisme Penyerapan Logam Berat oleh Alga.....	19
2.5 Biokonsentrasi Faktor (BCF) Logam Berat.....	22
2.6 ICP-OES (<i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission</i> Spectrometry)	23
2.6.1 Prinsip Kerja ICP-OES	23
2.6.2 Instrumentasi ICP-OES.....	24
2.6.3 Keunggulan dan Kekurangan ICP-OES	25
III. METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	27

3.2	Alat dan Bahan.....	27
3.3	Prosedur Penelitian	28
3.3.1	Pengambilan Sampel.....	28
3.3.1.1	Pengambilan Sampel Alga Hijau <i>Spirogyra</i> sp.	29
3.3.1.2	Pengambilan Sampel Air Sungai	30
3.3.2	Preparasi Sampel.....	30
3.3.2.1	Tahap Preparasi Sampel Alga Hijau	30
3.3.2.2	Tahap Preparasi Sampel Air	30
3.3.3	Analisis Kandungan Logam Berat Menggunakan ICP-OES.	31
3.4	Analisis Data	31
3.5	Akumulasi Logam Berat pada Alga Hijau <i>Spirogyra</i> sp. di Perairan Sungai Way Ratai	32
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Kandungan Logam Berat pada Alga Hijau <i>Spirogyra</i> sp. di Perairan Sungai Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung	33
4.2	Kandungan Logam Berat dalam Air Sungai Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung	40
4.3	<i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) Logam Berat pada Alga Hijau <i>Spirogyra</i> sp. di Perairan Sungai Way Ratai Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung	44
V.	SIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1	Simpulan	50
5.2	Saran	50
	DAFTAR PUSTAKA	51
	LAMPIRAN	62
	Lampiran 1. Stasiun Pengambilan Sampel	63
	Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kategori <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) Logam Berat	23
2. Koordinat Pengambilan Sampel Air dan Alga Hijau <i>Spirogyra</i> sp. di Sungai Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.	28
3. Hasil Pengujian Kandungan Logam Berat pada Alga Hijau <i>Spirogyra</i> sp. di Perairan Sungai Way Ratai Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.	34
4. Rerata Kandungan Logam Berat pada Air Sungai Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung	40
5. Nilai BCF Logam Berat pada Alga Hijau <i>Spirogyra</i> sp. di Perairan Sungai Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.	45
6. Kategori <i>Bioconcentration Factor</i> Logam Berat	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alga Hijau (<i>Spirogyra</i> sp.)	18
2. Penyerapan Ion Logam Berat (Adsorpsi) pada Dinding Sel.....	20
3. Penyerapan Ion Logam Berat (Absorpsi) di dalam sel hidup	21
4. Komponen Utama dan Tata Letak Instrumen ICP-OES	25
5. Sketsa Lokasi Pengambilan Sampel pada Aliran Sungai Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung	29

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Pesawaran dibentuk melalui Undang-undang Nomor 33 Tahun 2007 dan pada tanggal 2 November 2007 diresmikan oleh Menteri Dalam Negeri. Kabupaten Pesawaran merupakan pemekaran dari Kabupaten Lampung Selatan dengan garis pantai sepanjang 96 km. Terdapat suatu teluk yaitu Teluk Ratai yang berbatasan dengan Selat Sunda serta memiliki 37 gugus pulau (Pesawaran, 2016). Luas kawasan Kabupaten Pesawaran adalah 117.377 ha, memiliki 11 kecamatan dan 148 desa. Kawasan Kabupaten Pesawaran terdiri dari wilayah dataran, pegunungan, perbukitan, pesisir, serta beberapa daerah dialiri banyak sungai, salah satunya adalah Sungai Way Ratai yang bermuara ke Teluk Ratai (BP Pesawaran, 2018).

Teluk Ratai merupakan teluk yang berada di Kabupaten Pesawaran dan menjadi salah satu kawasan yang berpotensi terdampak logam berat akibat aktivitas pertambangan emas. Adanya potensi emas di kawasan tersebut membuat beberapa pihak tertarik untuk mengeksploitasinya, baik itu perusahaan pertambangan yang memiliki izin maupun pertambangan tradisional yang dilakukan oleh masyarakat setempat (BP Pesawaran, 2018). Berdasarkan observasi lapangan yang telah dilakukan, terdapat beberapa tempat pengolahan *tailing* hasil penambangan emas yang terlihat di beberapa titik salah satunya di sekitar bantaran Sungai Way Ratai.

Perusahaan pertambangan emas dalam mengekstraksi emas menggunakan sianida (CN) sedangkan penambang tradisional masih menggunakan metode

amalgamasi yaitu suatu cara pemisahan emas dari bijihnya dengan menggunakan air raksa atau merkuri (Hg) yang dicampurkan di dalam gelondong. *Tailing* atau limbah hasil penambangan emas mengandung banyak bahan pencemar beracun seperti logam kadmium (Cd), timbal (Pb), arsen (As), merkuri (Hg), sianida (CN) dan logam lainnya (Mirdat *et al.*, 2013). Kondisi lingkungan akan terganggu akibat pengaruh dari kontaminasi merkuri dan logam berat lain. Logam tersebut memiliki potensi dalam menimbulkan bahaya bagi kesehatan masyarakat sekitar lokasi penambangan dan lingkungan.

Tailing atau limbah logam berat dari penambangan emas ini biasanya tidak mengalami pengolahan dengan baik. Limbah tersebut langsung dibuang ke aliran sungai yang ada pada daerah tersebut sehingga dapat menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Salah satunya adalah fisik sungai menjadi terganggu dan kualitas sungai menurun. Aktivitas yang ada di sekitar sungai seperti penambangan emas dan pengolahan tailing memberikan pengaruh terhadap tingkat kekeruhan air. Sehingga masyarakat tidak dapat menggunakan sungai secara optimal, selain itu juga organisme air seperti ikan dan tumbuhan air lainnya ikut terkena dampak dari sungai yang tercemar.

Logam berat adalah polutan yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan manusia karena dapat berubah menjadi senyawa logam dengan tingkat toksisitas yang tinggi. Selanjutnya, logam berat tersebut mengalami akumulasi dan magnifikasi dalam rantai makanan dan pada akhirnya mempengaruhi kesehatan manusia (Zhou *et al.*, 2008).

Tingkat kandungan logam berat pada air sungai maupun laut sebanding dengan tingkat kandungan logam berat pada sedimen dan tubuh biota air (Selpiani *et al.*, 2015). Seperti pada kelompok makroalga, salah satunya alga hijau yang hidup di wilayah perairan dengan menempel pada substrat seperti batu, kayu, akar tumbuhan, dan benda-benda berada di dalam air. Sehingga dibandingkan organisme air lainnya, alga cenderung lebih banyak terpapar polutan. Sebagai organisme yang mampu melakukan fotosintesis, alga

mampu menyumbang oksigen dalam perairan. Selain itu alga berperan sebagai sumber makanan penting bagi ikan dan avertebrata lainnya, sebagai indikator biologi dalam mengevaluasi kualitas suatu perairan. Alga mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang tercemar dan dapat menjadi akumulator penting dari logam berat karena alga memiliki kemampuan dalam menyerap ion logam berat.

Berbagai spesies alga terutama kelompok alga hijau (Chlorophyta) baik dalam bentuk sel hidup maupun sel mati dan biomassa terimobilisasi pada beberapa penelitian diketahui memiliki potensi sebagai bioindikator dan mampu untuk mengadsorpsi ion logam (Betawi, 2012).

Berbagai aktifitas masyarakat di Sungai Way Ratai salah satunya pengolahan *tailing* hasil penambangan emas akan mengganggu keberadaan alga hijau (Chlorophyta) salah satunya *Spirogyra* sp. Hal ini dikarenakan kegiatan tersebut mengakibatkan air sungai menjadi keruh. Lumpur dari proses pengolahan *tailing* yang memiliki kandungan logam berat akan terendap dalam air sungai dan menempel pada batu sehingga menghalangi alga memanfaatkan cahaya untuk proses fotosintesis (Weitzel, 1979). Hal ini menyebabkan alga akan terpapar dan mengakumulasi logam berat.

Adanya aktivitas manusia yang tinggi di sekitar aliran Sungai Way Ratai seperti aktivitas masyarakat sehari-hari dan buangan limbah *tailing* hasil penambangan emas di aliran Sungai Way Ratai yang bermuara di Teluk Ratai, maka diasumsikan bahwa perairan Teluk Ratai telah tercemar. Untuk mengetahui pencemaran dari aktivitas tambang emas terhadap ekosistem Teluk Ratai, penting untuk dilakukannya suatu penelitian mengenai kandungan logam berat pada ekosistem sekitarnya, seperti pada sungai-sungai kecil yang bermuara ke Teluk Ratai, salah satunya Sungai Way Ratai. Sehingga dilakukannya penelitian mengenai kandungan logam berat pada air sungai dan biota yang berada di aliran Sungai Way Ratai, salah satunya adalah alga hijau *Spirogyra* sp.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kandungan logam berat pada alga hijau *Spirogyra* sp. dan air di aliran Sungai Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.
2. Mengetahui kemampuan alga hijau *Spirogyra* sp. dalam mengakumulasi logam berat.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai sumber informasi ilmiah mengenai kandungan dan kemampuan akumulasi alga hijau *Spirogyra* sp dalam mengakumulasi logam berat di aliran Sungai Way Ratai. Harapannya informasi ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menangani limbah dari aktivitas pertambangan emas di Kabupaten Pesawaran dan masukan untuk pemerintah daerah, pihak industri, pariwisata dan masyarakat dalam mengelola kegiatan yang berwawasan lingkungan.

1.4 Kerangka Pemikiran

Pencemaran yang terjadi di daerah sungai dan laut disebabkan oleh masukan bahan polutan seperti zat, makhluk hidup, ataupun energi. Polutan memasuki lingkungan melalui dua cara yaitu secara alami dan buatan melalui kegiatan manusia. Limbah bahan pencemar yang masuk ke perairan akibat kegiatan manusia salah satunya berasal dari penambangan emas dan diperkirakan mengandung logam berat, seperti merkuri, arsen, seng, kadmium, tembaga, nikel, kromium, dan timbal

Logam berat adalah bahan pencemar yang paling sering ditemukan dalam badan perairan dan berdampak negatif terhadap organisme perairan dan manusia yang menggunakan air tersebut. Logam berat akan berpengaruh terhadap kualitas air dan sumber daya hayati perairan serta kesehatan manusia. Hal ini disebabkan oleh adanya akumulasi logam dalam perairan karena

sifatnya yang sulit untuk terdegradasi. Adanya akumulasi logam dalam tubuh biota air seiring berjalannya waktu akan mengalami peningkatan dalam jaringan tubuh sehingga menyebabkan kematian organisme tersebut.

Kelompok makroalga yaitu *Spirogyra* sp adalah salah satu organisme perairan yang mempunyai kemampuan dalam penyerapan logam berat. Alga ini merupakan jenis alga hijau berfilamen (Chlorophyta) yang hidup melayang di permukaan air dan dapat melekat pada permukaan batu sungai, sehingga cenderung untuk terpapar polutan lebih banyak dibandingkan organisme air lain. Selain itu alga memiliki peranan penting sebagai produsen dalam ekosistem perairan, dan dapat menjadi akumulator penting dari logam berat. Berbagai aktivitas masyarakat di Sungai Way Ratai salah satunya pengolahan *tailing* hasil penambangan emas dapat mengganggu keberadaan alga serta menyebabkan alga terpapar dan mengakumulasi logam berat. Oleh karena itu penting untuk dilakukannya suatu penelitian untuk mengetahui kandungan logam berat pada alga hijau yang ada di perairan Sungai Way Ratai, sehingga pengaruh pencemaran dari aktivitas penambangan emas terhadap perairan sungai Way Ratai dapat diketahui.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Logam Berat

Pencemaran logam berat terjadi saat berbagai limbah dari kegiatan yang berhubungan dengan penggunaan logam berat dibuang ke lingkungan baik secara sengaja maupun tidak. Logam berat memiliki tingkat toksitas terhadap makhluk hidup yang berbeda dan tergantung pada jenis, tempat, daur hidup, toleransi, dan kemampuan makhluk hidup dalam menghindari dampak kontaminasi bahan pencemar (Palar, 2004).

Tingkat pencemaran logam berat dalam perairan dan organisme yang hidup didalamnya dibedakan menjadi:

1. Polusi berat, dimana kandungan logam berat pada air, sedimen, dan organisme perairan berada jauh diatas ambang batas yang ditentukan;
2. Polusi sedang, dimana kandungan logam berat pada perairan dan organisme di dalamnya berada pada nilai ambang batas yang telah ditentukan (batas marjinal);
3. Non polusi, kandungan logam berat pada perairan dan organisme di dalamnya sangat rendah atau jauh dibawah ambang batas yang telah ditentukan (Darmono, 2001).

Pencemaran logam berat di lingkungan berhubungan dengan banyaknya logam tersebut digunakan dalam kegiatan manusia. Kegiatan industri seperti pemurnian minyak, penambangan batubara, penambangan emas, pembangkit tenaga listrik dengan energi minyak, dan pengecoran logam, akan menghasilkan limbah pencemar, seperti pada logam yang larut dalam air dan

bersifat volatil seperti logam arsen (As), kadmium (Cd), timbal (Pb) dan merkuri (Hg). Selain itu industri semen, pabrik peleburan besi baja, dan pengabuan sampah juga merupakan penyebab pencemaran logam berat (Darmono, 1995).

Bahan pencemar yang berasal dari limbah aktivitas penambangan emas, adalah salah satu penyebab pencemaran logam berat di lingkungan perairan. Emas diolah melalui beberapa proses tahapan antara lain penggalian batuan, pengolahan, dan pembuangan limbah (Sumual, 2009).

Perolehan emas dilakukan melalui isolasi emas dari batuan bijih emas. Metode amalgamasi dan sianidasi adalah cara yang banyak digunakan untuk mengeksploitasi emas dalam skala industri (Susiyadi *et al.*, 2013). Untuk memperoleh emas dari penambangan, digunakan bahan merkuri (Hg) dan sianida (CN). Merkuri (Hg) adalah zat kimia yang sering digunakan para penambang emas untuk mengikat emas dari bijihnya. Pada umumnya bahan merkuri digunakan untuk membentuk proses yang disebut amalgamasi. Metode amalgamasi adalah proses ekstraksi emas yang paling mudah dan murah. Logam emas akan diikat dari bijih emas menggunakan merkuri (Hg) dalam gelundung (Suyono, 2011). Selain penggunaan merkuri, digunakan juga sianida yang disebut sianidasi. Sianidasi adalah metode yang diawali dengan peremukan dan penggerusan emas agar terpisah dari batuan induknya, kemudian bijih yang telah halus dimasukkan ketangkki sianida, dimana logam mulia beraksi dengan sianida.

Pembuangan limbah *tailing* pada beberapa lokasi pengolahan bijih emas dengan cara tidak benar akan menyebabkan pencemaran lingkungan. *Tailing* adalah bahan hasil sisa pengolahan bijih yang telah diambil mineral berharganya (Wills & Napier-Munn, 2005). *Tailing* sisa penambangan emas memiliki kandungan bahan berbahaya beracun berupa logam berat seperti kadmium (Cd), merkuri (Hg), timbal (Pb), sianida (CN), arsen (As) dan lainnya (Mirdat *et al.*, 2013). Air yang mengalir dari bekas penambangan mempunyai implikasi yang serius terhadap kualitas dari sungai dimana kandungan besi dan keasaman yang tinggi.

Masuknya logam berat ke dalam kelompok zat pencemar hal ini disebabkan logam berat sulit untuk diuraikan melalui proses biodegradasi, sehingga logam berat cenderung untuk mengalami akumulasi ke dalam lingkungan. Logam berat bersifat akumulatif, sulit untuk terurai oleh tubuh ketika logam tersebut mengontaminasi organisme air seperti ikan, dan menimbulkan sifat racun (Sunu, 2001).

2.2 Logam Berat

Logam berat adalah elemen kimia baik yang memiliki bentuk padat atau cair dengan berat jenis sebesar 5 g/cm^3 atau lebih, sedangkan logam dengan berat kurang dari 5 g/cm^3 tergolong ke dalam logam ringan. Dalam suatu sistem periodik unsur, logam berat berada pada sudut kanan bawah tabel dengan periode 4 sampai 9 dan nomor atom 22 – 92. Kelompok logam anorganik di perairan secara alami memiliki kandungan yang sangat sedikit. Logam berat yang berpotensi memiliki tingkat toksik cukup tinggi mempengaruhi rusaknya lingkungan perairan dan mengancam kehidupan biota perairan adalah Cd, Cr, As, Hg, Pb, Zn, Ni, dan Cu (Darmono, 2001).

Menurut Vouk (1986) unsur kimia yang terdapat di dalam bumi adalah sekitar 109 unsur, dan sebanyak 80 jenis unsur logam berat berhasil diidentifikasi. Logam berat tersebut berdasarkan efek toksiknya dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

1. Logam Berat Esensial, adalah kelompok logam berat yang memiliki manfaat terhadap organisme dan dibutuhkan dalam konsentrasi tertentu namun jika dalam jumlah berlebih akan menyebabkan sifat toksik, diantaranya logam Mn, Fe, Co, Cu, dan Zn.
2. Logam Berat Non Esensial, adalah kelompok logam berat yang belum diketahui manfaatnya oleh tubuh dan menimbulkan sifat racun yang sangat berbahaya, diantaranya logam Pb, Cr, Cd, Hg, dan sebagainya.

Tidak semua logam berat pada makhluk hidup menimbulkan sifat racun karena sebagian logam berat tersebut tetap dibutuhkan, namun hanya dalam jumlah yang sedikit. Sehingga jika jumlah tersebut tidak dipenuhi maka akan mempengaruhi kelangsungan hidup suatu organisme (Ika *et al.*, 2012; Setiawan, 2013).

Logam berat dapat mengganggu metabolisme manusia dan makhluk hidup lainnya, namun bergantung pada dimana logam tersebut terikat dalam tubuh. Masuknya logam berat dalam tubuh dapat melalui permukaan kulit, jalan nafas, dan makanan yang dicerna. Sifat toksiknya dapat mengganggu proses reaksi kimia yang terjadi dalam tubuh (metabolisme) dengan menghambat enzim dalam bekerja. Logam berat juga dapat mengakibatkan alergi, mutasi, teratogen, dan kanker bagi manusia. (Chen & Ahsan, 2004).

2.2.1 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) adalah logam dengan warna kebiruan atau keperakan yang terdapat pada endapan sulfid dan terikat pada mineral-mineral seperti seng dan tembaga. Logam Pb mudah dibentuk, meleleh pada suhu 328°C (662°F), dan akan mendidih pada suhu 1740°C (3164°F), serta memiliki berat atom 207,20 g/mol (Widowati *et al.*, 2008). Logam Pb memiliki nomor atom 82, sehingga dalam tabel periodik unsur Pb masuk ke dalam logam golongan IVA (Palar, 1994)

Menurut Palar (1994) konsentrasi utama Pb sekitar 12-20 ppm dalam kerak bumi dan tersebar luas pada tanah dan batuan. Adanya pengikisan batuan mineral sebagai akibat dari gelombang air dan angin serta kristalisasi logam Pb di udara dengan bantuan air hujan adalah salah satu sumber alami kandungan logam Pb pada badan perairan. Sedangkan sumber Pb dari kegiatan antropogenik dapat berasal dari limbah kegiatan industri yang berkaitan dengan logam Pb, limbah sisa industri batu baterai, serta kegiatan pertambangan seperti bijih timah hitam. Limbah tersebut

mengalir masuk melalui aliran air, seperti air sungai yang kemudian akan tertampung atau bermuara ke lautan.

Palar (1994) juga menyatakan bahwa, ikan-ikan yang ada di perairan dapat mengalami kematian jika terdapat logam Pb dengan kandungan 188 mg/L. Sedangkan kematian kelompok Crustacea pada perairan disebabkan oleh kandungan Pb sekitar 2,75 - 49 mg/L dengan lama paparan selama 245 jam.

2.2.2 Kadmium (Cd)

Kadmium adalah logam berat dengan memiliki massa jenis sebesar 8,65 g/cm³, berat atom 112,4 g/mol, nomor atom 48, titik leleh 321°C, dan titik didih 767°C. Memiliki warna putih perak, mengkilap, mudah untuk bereaksi serta tidak larut dalam basa (Istarani & Pandebesie, 2014).

Pada perairan alami kandungan kadmium berkisar 0,29 – 0,55 ppb dan rerata sebesar 0,42 ppb. Logam Cd memiliki ikatan tarik menarik yang tinggi terhadap gugus sulfhidrid pada enzim dan dalam lemak kelarutannya akan meningkat. Pada perairan alami, ion Cd cenderung untuk terhidrolisis jika dalam keadaan basa, dan teradsorpsi oleh padatan yang mengalami suspensi. Logam kadmium dalam perairan alami akan membentuk ikatan kompleks dengan molekul sederhana ligan yaitu Cd²⁺, Cd(OH)⁺, CdSO₄, CdCl⁺, CdCO₃, dan Cd-organik (Sanusi, 2006).

Hadi *et al.*, (2015) mengatakan logam kadmiun merupakan logam berat beracun bagi makhluk hidup dan lingkungan, serta dapat terakumulasi pada organ hati dan ginjal. Selain itu, adanya kadmium menyebabkan DNA menjadi termutasi (mutagen) sehingga akan menjadi penyebab kanker pada manusia dan hewan. Darmono (1995) menyatakan logam kadmium pada air laut akan berikatan dengan garam membentuk senyawa klorida (CdCl₂) sedangkan dalam air tawar akan membentuk ikatan dengan senyawa karbonat menjadi Cadmium Carbonat (CdCO₃).

2.2.3 Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam bernomor atom 29 dan memiliki berat atom (BA) sebesar 63,546 g/mol. Memiliki nama kimia *cuprum* dan dilambangkan dengan Cu, memiliki bentuk kristal berwarna kemerahan (Palar, 1994). Cu memiliki massa jenis sebesar 8,90 g/cm³ dan titik cair 1084°C (Darmono, 1995).

Logam Cu dalam jumlah mikro merupakan salah satu logam berat esensial yang dibutuhkan bagi kehidupan organisme, baik daratan maupun perairan. Logam ini berperan dalam pembentukan suatu enzim yang mengkatalisis reaksi oksidasi (enzim oksidatif). Logam Cu juga berperan dalam membentuk hemoglobin, kolagen, pembuluh darah dan myelin otak (Darmono, 1995). Normalnya pada air laut kandungan Cu sekitar 0,002–0,005 ppm dan 2 ppb atau 0,002 ppm (Palar, 2004).

Adanya konsumsi Cu dalam jumlah yang berlebihan akan menyebabkan suatu proses akumulasi dalam tubuh dan menimbulkan sifat racun. Kandungan Cu yang tinggi pada manusia dapat menyebabkan mual, muntah, sakit perut, hemolisis, nefrosis atau kerusakan pada ginjal, kejang, dan akhirnya mengalami akan kematian. Pada keracunan yang kronis, logam Cu terakumulasi dalam hati dan mengakibatkan rusaknya membran sel darah merah (hemolisis). Hemolisis ini terjadi karena H₂O₂ tertimbun dalam sel darah merah sehingga sel menjadi pecah. Pecahnya sel ini karena adanya proses oksidasi dari lapisan sel (Darmono, 1995).

2.2.4 Kromium (Cr)

Kromium adalah unsur logam yang memiliki sifat tahan karat dengan warna abu-abu. Dalam tabel periodik unsur logam Cr tergolong ke dalam logam transisi golongan VI B, bernomor atom 24, dan massa jenis 7,19 g/cm³. Logam Cr adalah unsur esensial yang dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup. Terdapat 3 jenis valensi Kromium di alam yaitu Cr (0), Cr trivalen (III), dan Cr heksavalen (VI). Cr (III) adalah unsur logam

essensial yang berperan dalam reaksi enzimatik pada metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, 2008).

Jika kandungan logam Cr dalam tubuh manusia berada pada jumlah yang berlebihan, maka sistem organ tubuh akan mengalami kerusakan. DHHS (*Department of Health and Human Services*), IARC (*International Agency for Research on Cancer*), dan EPA (*Environmental Protection Agency*) menetapkan bahwa Cr (VI) adalah suatu unsur kimia toksik karena memiliki sifat karsinogenik bagi manusia. Toksisitas akut dapat timbul jika akumulasi Cr (VI) pada manusia sebesar 7,5 mg/L yang ditandai dengan kematian. Sedangkan jika kandungan Cr (VI) sebesar 0,57 mg/kg pada setiap harinya maka akan menyebabkan organ hati mengalami kerusakan (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, 2008).

2.2.5 Seng (Zn)

Seng adalah logam bernomor atom (NA) 30, berat atom (BA) 65,37 g/mol dan berat jenis 7,14 kg/dm³. Logam Zn memiliki warna putih kebiruan. Logam Zn larut mudah larut dalam asam klorida encer dan asam sulfat encer. Seperti sifat logam pada umumnya, logam seng memiliki konduktivitas listrik yang baik (Tolcin, 2008)

Seng (Zn) adalah elemen kimia yang secara alami terdapat dalam kerak bumi. Zn adalah logam dengan karakteristik yang cukup reaktif. Dalam keadaan ion bebas, logam Zn memiliki tingkat toksisitas tinggi (Widowati *et al.*, 2008)

Seng (Zn) merupakan komponen esensial yang terlibat pada berbagai fungsi enzim pada proses metabolisme tubuh. Logam tersebar pada jaringan manusia atau hewan. Telah dilakukan isolasi dan pemurnian sekitar 15 - 20 metallo-enzim yang memiliki kandungan seng. Karbonat

anhidrase yang terdapat dalam sel darah merah adalah salah satunya. Selain itu karboksi peptidase dan dehidrogenase dalam hati juga mengandung seng. Seng juga berperan sebagai kofaktor yang berperan dalam mengaktifkan suatu enzim (Winarno, 1988).

2.2.6 Perak (Ag)

Argentum (Ag) atau biasa disebut dengan perak adalah unsur logam transisi yang berwarna putih mengkilap. Perak diperoleh dari industri antara lain industri alloy (perpaduan logam), keramik, peralatan meja, fotografi, cermin, dan cat rambut. Ag akan terakumulasi di dalam tubuh seperti pada organ tubuh dan mampu menyebabkan adanya pigmentasi kelabu yang disebut Argyria yang bersifat permanen. Hal ini disebabkan karena tubuh tidak dapat mengekskresikan logam Ag. Senyawa Ag dalam bentuk debu menyebabkan kulit teriritasi dan kulit menghitam. Saat terikat dengan nitrat, logam Ag menjadi sangat korosif. Perak yang terakumulasi di dalam selaput lendir dan kulit akan menyebabkan terjadinya Argyria sistemik (Slamet, 1996).

Secara umum kontaminasi logam perak berdampak terhadap kualitas perairan dan biota perairan serta ekosistem di dalamnya. Pengaruh kontaminasi pada ikan antara lain dapat menyebabkan penghambatan kerja enzim pada hati, menghambat pertumbuhan embrio, kemampuan hidup embrio sampai menyebabkan kematian pada telur atau embrio. Hal ini berhubungan erat dengan pengaruhnya terhadap tingkat kelestarian keanekaragaman hayati pada biota perairan (Ritabulan, 2011).

2.2.7 Kobalt (Co)

Kobalt adalah elemen kimia yang dilambangkan dengan Co. Salah satu logam transisi golongan VIII B dengan nomor atom 27. Kobalt tersedia dalam bentuk campuran seperti kertas perak dan kawat. Logam berat Co

ditemukan banyak terikat dengan perak, bijih besi, nikel, tembaga, dan timbal. Menurut US EPA (2004) batas kandungan kobalt pada sedimen yaitu sebesar 50,57 - 158,13 ppm.

Kobalt sulit untuk didegradasi jika memasuki lingkungan dan akan mengalami proses akumulasi pada partikel tanah atau sedimen air. Kobalt (Co) termasuk logam esensial yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit (renik) yang berperan untuk pertumbuhan dan reproduksi pada tumbuhan dan hewan (Permatasari, 2017).

2.2.8 Besi (Fe)

Besi (Fe) termasuk ke dalam kelompok logam makromineral yang berada dalam kerak bumi, dan dalam sistem biologi termasuk kelompok mikromineral. Memiliki sifat esensial yaitu dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup seperti pada hewan, tumbuhan, dan manusia, bersifat kurang stabil. Pada perairan alami kandungan Fe berkisar antara 0,05 - 0,2 mg/L sedangkan pada tanah dangkal kandungan Fe dapat mencapai 10 - 100 mg/L. Kandungan Fe >1,0 mg/L dianggap dapat membahayakan kehidupan organisme perairan (Tarigan, 2017).

Toksisitas besi (Fe) pada tubuh manusia kemungkinan besar terjadi karena mengkonsumsi makanan, obat, maupun vitamin yang mengandung Fe secara berlebihan. Keracunan Fe akan menyebabkan kerusakan pada organ tubuh seperti otak, hati, lambung, ginjal, dan dinding pembuluh darah. Keracunan ini juga dapat mengakibatkan kemampuan permeabilitas dinding pembuluh darah kapiler meningkat sehingga cairan yang berada di dalam pembuluh darah merembes keluar. Adanya penurunan kapasitas darah dan hipoksia jaringan menyebabkan asidosis atau meningkatnya kadar asam dalam darah (Darmono, 2001).

2.2.9 Mangan (Mn)

Mangan (Mn) elemen yang dibutuhkan oleh manusia untuk bertahan hidup, namun akan menjadi racun jika ditemukan dalam konsentrasi yang tinggi. Mangan dapat berada dalam bentuk Mn^{2+} yang disebut manganous dan Mn^{4+} atau manganik (Palar, 1994)

Pada perairan alami memiliki kandungan mangan sekitar kurang lebih sekitar 0,2 liter, sedangkan kandungan lebih besar terdapat pada air tanah dan danau yang dalam. Pada perairan dengan suasana asam dapat memiliki kandungan mangan sekitar 10 – 150 liter. Mangan dapat berasal dari batu baterai, dimana terdapat suatu bahan zat aktif di dalamnya dan setelah habis digunakan selanjutnya dialiri melalui sungai sampai ke pesisir (Palar, 1994).

2.2.10 Nikel (Ni)

Nikel (Ni) adalah unsur logam yang memiliki densitas atau massa jenis 8,5 gr/cm^3 dan berat atom sebesar 58,7 g/mol. Logam dengan warna putih perak ini memiliki sifat yang resisten terhadap korosi dan oksidasi pada temperatur tinggi, berguna untuk bahan produksi *stainless steel*. Ni ditemukan secara alami di dalam kerak bumi dan di lingkungan berada pada bentuk kombinasi dengan arsen, oksigen, sulfur oksida, silikat, sulfida dan arsenida (Widowati *et al.*, 2008).

Nikel jika ditemukan dalam kandungan yang tinggi di tanah dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Jika dalam air dapat menghambat pertumbuhan alga, selain itu logam nikel juga mempengaruhi mikroorganisme lain untuk tumbuh, namun umumnya mereka akan melakukan perlawanan terhadap nikel (Darmono, 1995).

2.3 Alga

2.3.1 Pengertian Alga

Alga adalah organisme autotrof yang digolongkan sebagai tumbuhan bertalus, karena belum memiliki organ akar, batang, daun sesungguhnya. (Campbell *et al.*, 2003). Termasuk organisme berklorofil, dengan tubuh bersel satu (uniseluler) maupun bersel banyak (multiseluler). Umumnya alga bersel satu hidup sebagai fitoplankton di perairan, sedangkan alga bersel banyak atau multiseluler sebagai bentos, nekton, dan perifiton. Alga hidup di air atau tempat basah pada permukaan tumbuhan (epifit) atau dalam tumbuhan lain (endofit). Menurut Abowei & Ezekiel (2013) berdasarkan ukuran morfologi tubuhnya, alga dibedakan ke dalam dua kelompok yaitu:

1. Mikroalga, adalah alga dengan ukuran dan bentuk yang sangat kecil tak kasatmata atau mikroskopik;
2. Makroalga, adalah alga yang berukuran makroskopik sehingga mudah untuk dilihat dengan mata telanjang.

Berdasarkan zat warna yang dimilikinya, alga dikelompokkan ke dalam 4 divisi yaitu alga hijau (Chlorophyta), alga merah (Rhodophyta), alga pirang/cokelat (Phaeophyta), dan alga keemasan (Chrysophyta).

2.3.2 Alga Hijau (Chlorophyta)

Alga hijau adalah organisme prokariotik dan termasuk kelompok alga paling maju karena sifat-sifat tumbuhan tingkat tinggi yang dimilikinya. Memiliki bentuk tubuh yang seperti benang atau filamen, bulat, lempengan, dan serupa dengan tumbuhan tingkat tinggi. DNA berada dalam sebuah nukleus yang diselubungi oleh membran nukleus, dengan beberapa jenis ada yang memiliki flagella. Sebagian besar dinding sel alga hijau tersusun atas selulosa. Alga hijau berwarna hijau rumput, karena kandungan pigmen fotosintetik yang dimilikinya yaitu klorofil-a dan beberapa karotenoid (Airini, 2015).

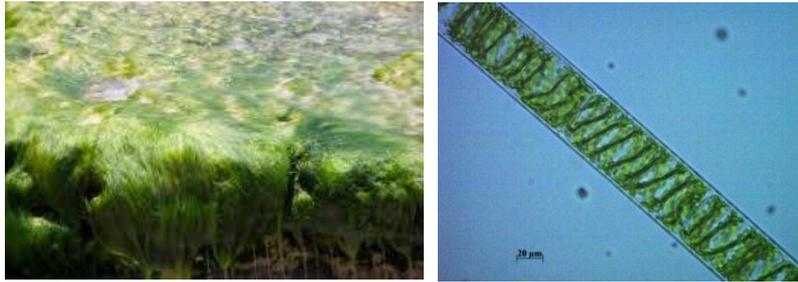
Alga hijau dapat melakukan fotosintesis, sebagian besar alga hijau yaitu sebanyak 90% mendiami perairan tawar dan 10% lainnya hidup di laut. Alga hijau bereproduksi dengan cara fragmentasi dan konjugasi (Hadi, 2012). Memiliki kemampuan dalam mengikat CO₂ dan senyawa anorganik lainnya untuk metabolisme fotosintetiknya, mampu menyuplai oksigen sehingga dapat hidup di lingkungan yang miskin nutrisi (oligotrofik). Alga hijau dapat berperan dalam mengolah air limbah secara biologis. (Afandi, 2003). Beberapa anggotanya dapat hidup di air mengapung atau melayang (Fitoplankton), melayang bebas dalam air (Nekton), menempel pada dasar perairan (Bentos), dan hidup melekat pada tumbuhan lain (Perifiton) (Agung, 2000).

2.3.3 *Spirogyra* sp.

Klasifikasi *Spirogyra* sp. (Bold & Wynne, 1985).

Kingdom	: Protista
Divisi	: Chlorophyta
Class	: Chlorophyceae
Ordo	: Zygnematales
Famili	: Zygnemataceae
Genus	: <i>Spirogyra</i>
Species	: <i>Spirogyra</i> sp.

Spirogyra sp. adalah jenis alga berfilamen yang dapat ditemukan di perairan tawar seperti pada aliran sungai, danau, dan parit atau selokan (Eshaq, 2011). Ciri morfologi alga filamen *Spirogyra* sp. berbentuk seperti helaian rambut halus berwarna hijau seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Jika diamati secara mikroskopis dengan menggunakan mikroskop, terlihat kloroplas yang tersusun secara spiral.



Gambar 1. Alga hijau (*Spirogyra* sp.) (Husein & Rohmatin, 2014).

Pertumbuhannya berawal di dalam dasar perairan, kemudian dalam perkembangannya, alga filamen menghasilkan oksigen dari proses fotosintesis yang tersimpan di antara sel filamen. Hal ini yang menyebabkan alga berfilamen *Spirogyra* sp. terapung ke permukaan perairan (William & Jr., 2009).

Menurut Pattanaik & Pattanaik (2012) *Spirogyra* dapat digunakan dalam upaya mengurangi limbah pertambangan di Lembah Sukinda, India. Hal ini ditunjukkan oleh adanya penurunan dari logam Cr (VI) sebesar 97,60%. Adanya kutikula yang tipis pada seluruh permukaan tubuhnya memberikan kemampuan *Spirogyra* untuk mudah dalam melakukan pengambilan logam berat pada air. Ini menunjukkan bahwa *Spirogyra* memiliki potensi sebagai agen fitoremediasi perairan yang tercemar (Priyanto & Prayitno, 2008).

2.3.4 Alga sebagai Adsorben Logam Berat

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Black dan Mitchell (1952) terkait kandungan logam berat pada makroalga coklat jenis *Laminaria cloustoni* dan *Laminaria digitata*, dapat diketahui bahwa alga memiliki kemampuan dalam menyerap polutan atau zat yang terlarut dalam perairan. Sehingga dapat dijadikan sebagai indikator untuk mengetahui pencemaran logam berat di perairan.

Salah satu penyebab terhambatnya pertumbuhan alga adalah adanya kandungan logam berat yang tinggi pada lingkungan perairan. Sehingga eksistensi atau kehadiran logam berat dalam lingkungan adalah sumber polutan bagi alga. Telah banyak upaya yang dilakukan dalam mengurangi logam berat pada perairan, salah satunya dengan menggunakan sistem adsorpsi. Beberapa jenis alga baik dalam keadaan hidup maupun bentuk sel mati telah diketahui mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi ion-ion logam berat (Regine *et al.*, 2000). Gugus fungsi yang ada dalam dinding sel alga yaitu gugus karboksil, acetamido, amino, amido, sulfat, dan gugus sulfhidril pada beberapa penelitian dikatakan mampu untuk mengikat ion logam berat.

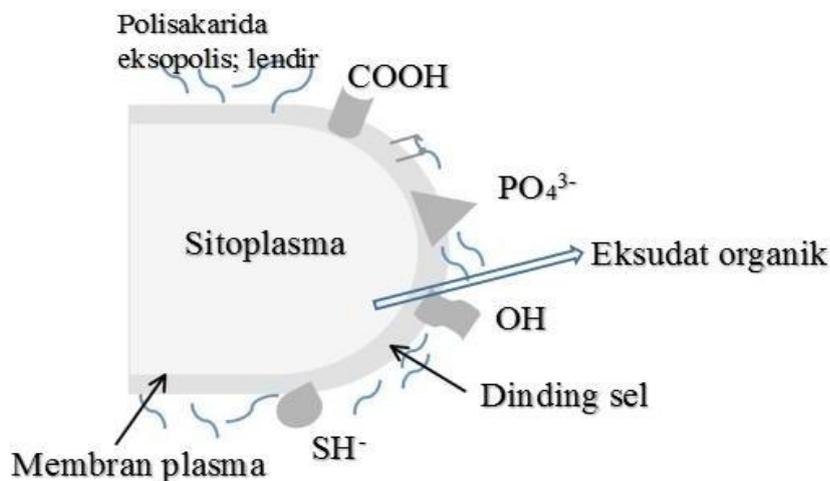
2.4 Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Alga

Penyerapan logam berat oleh alga dan material biologis lainnya dapat terjadi baik pada sel hidup maupun sel mati, terutama terjadi pada bagian terluar dinding sel atau permukaan alga. Melibatkan suatu proses kimia dan fisika diantaranya adalah penyerapan secara adsorpsi, pertukaran ion, dan penyusunan senyawa kompleks (Wang & Chen, 2006)

Proses ini melibatkan adanya interaksi antara gugus khusus yang ada pada sel seperti gugus karboksilat, karbonil, hidroksil, amina, fosfat, fosfodiester, dan tiolat. Melalui pasangan elektron bebas melakukan koordinasi dengan atom pusat. Selain itu menimbulkan interaksi polar, interaksi ionik, interaksi gabungan antara kation logam dengan suatu makromolekul (Mao *et al.*, 2009).

Mekanisme penyerapan ion logam berat pada alga terdapat dua fase. Pertama yaitu *passive uptake* atau dikenal sebagai adsorpsi, penyerapan terjadi pada dinding sel alga (Kaplan, 1988; Mishra *et al.*, 2011) dan komponen dinding sel lainnya, seperti gugus karboksil, hidroksil, sulfat dan fosfat (Naja & B.Volesky, 2011). Pada proses ini terjadi di sekitar dinding sel baik dalam sel

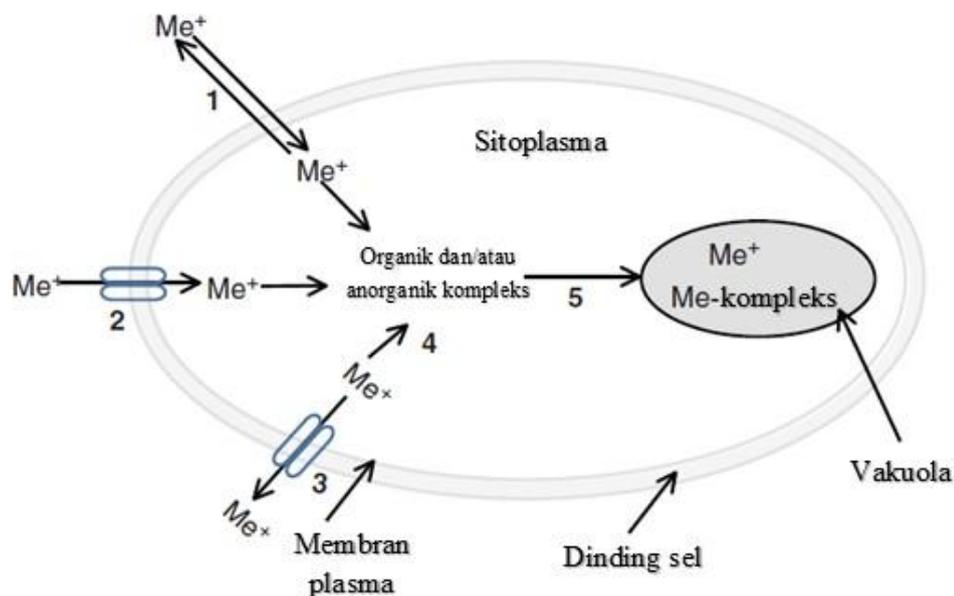
hidup maupun tak hidup, berlangsung dengan cepat dan bolak-balik (Ernst, 1998).



Gambar 2. Penyerapan ion logam berat (adsorpsi) pada dinding sel (Kaplan, 1988).

Penyerapan dimulai saat adanya interaksi antara ion logam berat dan dinding sel alga. Kemudian diikuti oleh pertukaran ion logam berat yang ada di sekeliling sel dengan ion Na pada sel. Selanjutnya yaitu senyawa kompleks dibentuk antara ion logam dengan gugus fungsi pada sel. Adapun gugus fungsional tersebut seperti karboksil (-COOH), gugus hidroksil (-HCO), gugus karbonil (-CO), sulfhydryl (-SH), ion sulfat SO_4^{2-} , dan ion fosfat (PO_4^3) (Adi & Dyah, 2010).

Pada fase kedua yaitu penyerapan secara aktif atau disebut absorpsi (*active uptake*), dimana terjadinya proses penyerapan, detoksifikasi konsentrasi logam berat, dan akumulasi di dalam sel alga. Pada penyerapan ini terjadi transpor aktif melewati membran sel, adanya pengikatan protein serta komponen intrasel lain. Proses ini berlangsung lambat dan hanya terjadi pada sel hidup (Wilde & Benemann, 1993).



Gambar 3. Penyerapan ion logam berat (absorpsi) terjadi di dalam sel hidup.

- 1) Perpindahan ion logam melewati membran;
- 2) Transpor aktif melalui pengangkut ion;
- 3) Penghabisan aktif ion logam bebas;
- 4) Pembentukan senyawa kompleks;
- 5) Logam berat ditransportasikan ke dalam vakuola (Kaplan, 1988).

Terjadi difusi terfasilitasi dengan bantuan protein transpor yaitu enzim *permease*. Enzim *permease* adalah protein pada membran sel yang akan mengikat ion logam berat dan membuat ion logam dapat melintasi membran sel (Kimball, 1998). Dalam prosesnya, terjadi transport aktif dengan menggunakan energi ATP. Ion logam berat mengalami perpindahan sepanjang arah gradien konsentrasi dan membran sel juga dapat memompa ion logam berat melawan gradien konsentrasi (Darnell *et al.*, 1986). Ion logam berat akan memasuki organel sel dalam sitoplasma setelah mampu melewati membran sel (Ernst, 1998).

Ketika ion logam berat berikatan dengan gugus Sulfur yang ada pada asam amino sistein di dinding sel, proses penyerapan ion logam berat dimulai. Metallothioenin (MT) akan terbentuk saat logam asing masuk dan dikenali

oleh protein reseptor. Protein MT adalah suatu protein yang mampu mengikat ion logam dan memiliki kandungan asam amino sistein sebanyak 30%. Protein MT memiliki daya afinitas yang kuat terhadap logam karena adanya kandungan sistein yang tinggi. Ion logam berat berikatan dengan MT di dalam sel melalui proses transport pasif (Adi & Dyah, 2010).

Saat logam berat bergabung dengan dua atom sulfur dalam sistein, logam berat tersebut akan mengalami penurunan toksisitas dalam strukturnya. Setelah logam berat berikatan dengan protein MT selanjutnya masuk ke dalam vakuola, dimana ion-ion dan senyawa metabolit lainnya disimpan. Selama ion logam berat masih melakukan pengikatan dengan gugus Sulfur dari protein dinding sel, MT akan terus terbentuk dalam sel. Sampai sel tersebut jenuh dan mengalami fase kematian (Adi & Dyah, 2010).

2.5 Biokonsentrasi Faktor (BCF) Logam Berat

Ghosh & Singh (2005) mengatakan bahwa dengan melakukan perhitungan *bioconcentration factor* (BCF) atau faktor biokonsentrasi maka suatu tingkat akumulasi logam berat pada suatu organisme perairan dapat diketahui. Biokonsentrasi adalah polutan yang masuk secara langsung dari air ke dalam makhluk hidup seperti ikan dan tumbuhan air lainnya melalui jaringan sedangkan bioakumulasi adalah masuknya polutan ke dalam makhluk hidup melalui suatu mekanisme. Dalam perairan, bioakumulasi suatu bahan kimia merupakan kriteria penting untuk mengevaluasi tingkat pencemaran lingkungan (Connel & Miller, 2006; Ivanciuc *et al.*, 2006).

Nilai BCF didapatkan dari perbandingan antara kandungan logam berat yang terukur di dalam tubuh organisme dengan kandungan logam berat yang terdapat pada air dan sedimen. Tingginya nilai BCF dalam suatu organisme menunjukkan bahwa tingginya organisme tersebut dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat (Potipat *et al.*, 2015).

Tabel 1. Kategori *Bioconcentration Factor* (BCF) Logam Berat (Ghosh & Singh, 2005)

No	Range BCF	Kategori BCF
1.	>1000	Sangat Tinggi
2.	100-1000	Tinggi
3.	30-100	Sedang
4.	<30	Rendah

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

Pada tahun 1960, metode ini pertama kali dipergunakan untuk meningkatkan perkembangan teknik analisis. ICP atau *Inductively Coupled Plasma* menjadi suatu metode dalam mendeteksi elemen logam yang terdapat pada sampel lingkungan (Thomas, 2003).

ICP-OES adalah perangkat analisis yang berfungsi dalam menentukan konsentrasi unsur logam pada berbagai matriks sampel berbeda. Pada pertengahan tahun 1960-an, Fassel *et al.* di *Iowa State University*, Amerika Serikat dan Greenfield *et al.* di Albright and Wilson, Inggris mengembangkan ICP untuk spektrometri emisi optik. Dan pada tahun 1974, instrumen ICP-OES pertama kali secara komersial diperkenalkan (Hou & Jones, 2000).

2.6.1 Prinsip Kerja ICP-OES

Emisi spontan foton dari atom dan ion yang telah tereksitasi dalam pelepasan frekuensi radio (*radio frequency*/RF) adalah yang mendasari teknik ini. Sampel dalam bentuk cair dan gas dapat secara langsung diinjeksikan ke dalam instrumen, sedangkan sampel dalam bentuk padat harus diekstraksi atau dicerna dengan asam terlebih dahulu dengan tujuan untuk mendapatkan analit berupa larutan. Selanjutnya sampel diarahkan ke saluran pusat plasma setelah diubah menjadi aerosol, dan analit akan dibebaskan dalam bentuk gas sebagai atom bebas. Atom tersebut akan diubah menjadi ion dan saat memiliki energi yang cukup ion tersebut akan menjadi tereksitasi. Keadaan tereksitasi dari atom dan ion kemudian melalui

emisi foton akan kembali ke keadaan dasar. Panjang gelombang yang dipancarkan oleh foton digunakan sebagai penentuan unsur-unsur asalnya. Hal ini dikarenakan adanya karakter energi yang khas pada foton (Hou & Jones, 2000).

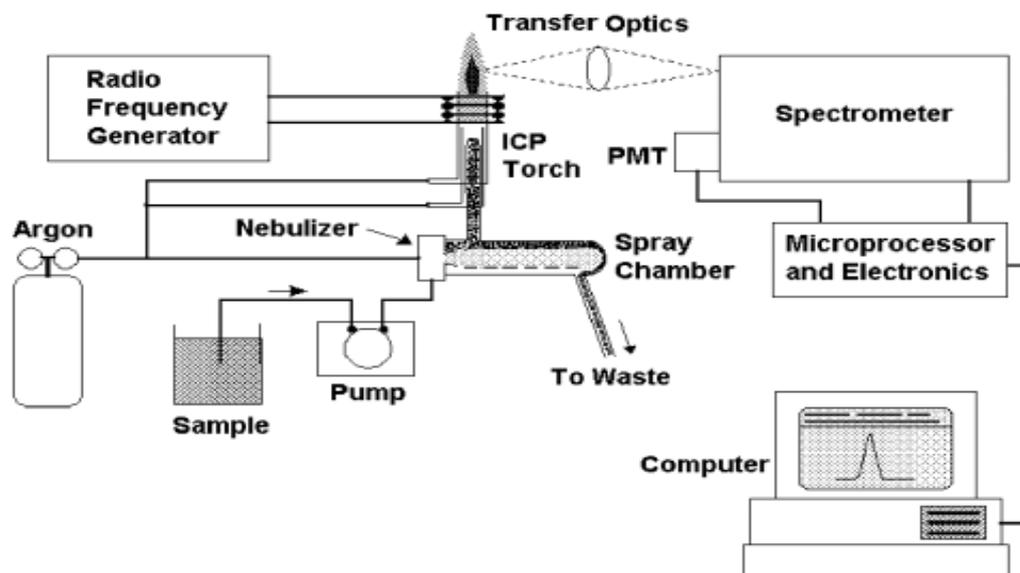
Intensitas energi yang dipancarkan pada panjang gelombang tertentu sama dengan konsentrasi elemen yang dianalisis. Panjang gelombang memasuki monokromator dan dikirim ke detektor untuk diubah menjadi sinyal listrik.. Selanjutnya diubah kedalam sistem pembacaan data saat memasuki integrator.

2.6.2 Instrumentasi ICP-OES

Dalam ICP-OES, sampel yang diangkut ke instrumen biasanya harus dalam bentuk cair dimana cairan dalam instrumen akan diubah menjadi aerosol dengan menggunakan *nebulizer* untuk dibawa ke plasma. Untuk membuat aerosol ini *nebulizer* menggunakan aliran gas berkecepatan tinggi yaitu sekitar 1 liter/menit. Sampel aerosol yang diangkut ke plasma selanjutnya mengalami penghancuran, penguapan, atomisasi, dan eksitasi dan / atau ionisasi. Dalam mendorong larutan sampel melalui pipa, digunakan pompa peristaltik (*pumps*). Pompa ini menggunakan serangkaian rol yang mendorong larutan dengan gerak peristaltik. Tidak ada sentuhan antara pompa dengan larutan, hanya ada kontak pada tabung yang membawa larutan dari bejana sampel ke *nebulizer* sehingga tidak menimbulkan potensi kontaminasi larutan. Setelah *nebulizer* membuat aerosol, selanjutnya sampel harus dipindahkan ke obor (*torch*) dan diinjeksikan ke dalam plasma. Sampel yang cocok untuk diinjeksi ke plasma adalah hanya dalam bentuk tetesan aerosol yang berukuran sangat kecil saja, sehingga di antara *nebulizer* dan *torch* diletakkan *spray chamber* (Boss & Fredeen, 1997).

Spray chamber dirancang untuk meloloskan tetesan dengan diameter 10 μm atau lebih kecil, sehingga berfungsi untuk menghilangkan tetesan aerosol

berukuran besar. Atom dan ion mengalami eksitasi akan memancarkan radiasi khas yang dikumpulkan oleh perangkat dan diseleksi berdasarkan panjang gelombang. Radiasi yang terdeteksi dan diubah menjadi sinyal elektronik selanjutnya menjadi informasi konsentrasi untuk analisis (Boss & Fredeen, 1997). Representasi tata letak instrumen ICP-OES ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Komponen utama dan tata letak instrumen ICP-OES (Boss & Fredeen, 1997).

2.6.3 Keunggulan dan Kekurangan ICP-OES

Keunggulan dari ICP-OES adalah kemampuan dalam menentukan banyak elemen secara bersamaan yaitu hingga 70 elemen, memiliki lingkungan yang inert dan suhu atomisasi yang lebih tinggi. ICP memiliki batas deteksi konsentrasi analit yang rendah, lebih rendah dari instrumen AAS. Perakitan yang mudah dan relatif lebih murah. ICP memiliki ketahanan terhadap gangguan matriks (Hou & Jones, 2000).

Kekurangan ICP-OES adalah sampel yang dianalisis berupa sampel cair, sehingga untuk sampel padat harus dilakukan digesti asam untuk dilarutkan

menjadi bentuk cairan. Meskipun ICP-OES dapat mendeteksi semua unsur kecuali argon, tetapi ICP juga sulit untuk menganalisis unsur halogen, karena untuk transmisi panjang gelombang yang rendah diperlukan suatu optik khusus (Hou & Jones, 2000).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2020 sampai bulan Februari 2021. Pengambilan sampel dilakukan di aliran Sungai Way Ratai, Pesawaran. Persiapan dan preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Biomolekuler, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Sedangkan analisis kandungan logam berat pada sampel dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Penelitian ini didanai oleh SRIREP (*Sustainable Regional Innovations for Reducing Environmental Pollutions*) Studies Unila-RIHN (*Research Institute for Humanity and Nature*) tahun 2020.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS (*Global Positioning System*), *cool box*, kantong plastik *zipper*, botol plastik, botol HDPE, alat tulis, kertas label, mortar dan alu, labu destruksi, erlenmeyer, neraca analitik, oven, *hot plate*, gelas ukur, spatula besi, pipet volumetri, dan instrumen *Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) Varian 715-ES.

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air sungai dan alga hijau *Spirogyra sp.*, larutan HCL 30%, larutan HNO₃ 65%, larutan H₂O₂ 30%, aquades, dan kertas saring Whatman No. 41.

3.3 Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif-eksploratif yaitu berupa pengambilan sampel secara acak dengan tujuan untuk memberikan gambaran mengenai keadaan suatu fenomena.

3.3.1 Pengambilan Sampel

Penentuan lokasi *sampling* dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan pertimbangan jarak lokasi kegiatan pengolahan *tailing* hasil penambangan emas dan masukan limbah serta faktor kemudahan pengambilan sampel (Rahmah, 2019).

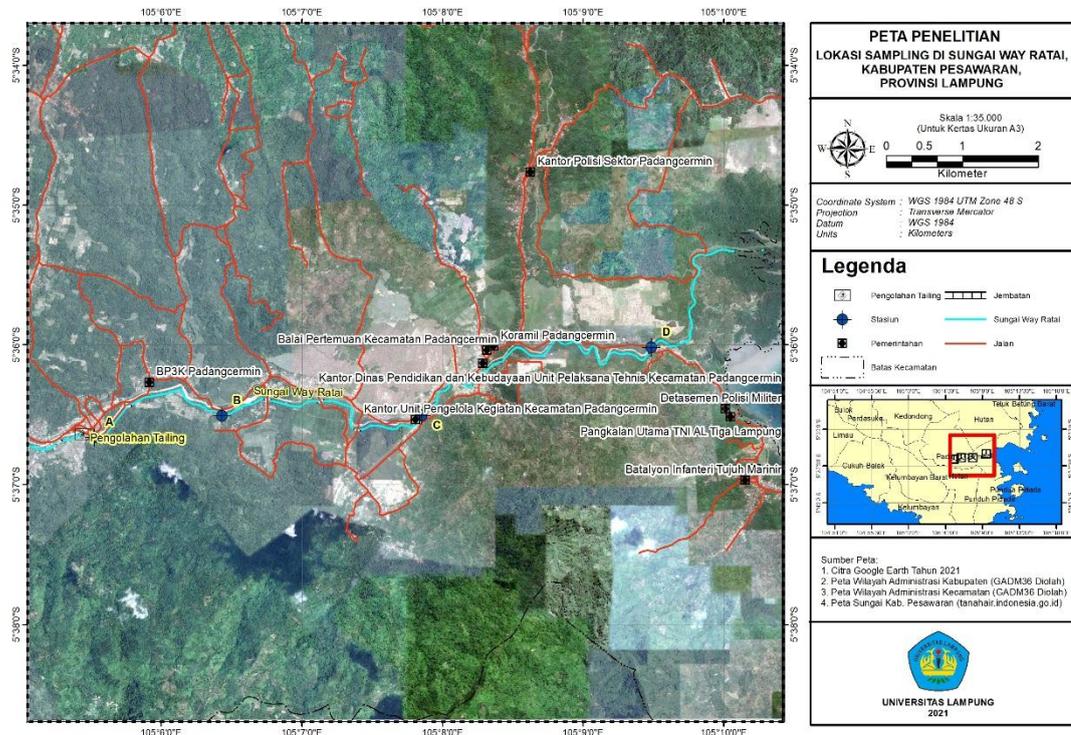
Sampel air sungai dan alga hijau *Spirogyra* sp. diambil dari lokasi yang berkaitan langsung dengan kegiatan pengolahan *tailing* hasil penambangan emas di sekitar Sungai Way Ratai. Lokasi pengambilan sampel terdiri dari 4 stasiun pengamatan. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Koordinat Pengambilan Sampel Air dan Alga Hijau *Spirogyra* sp. di Sungai Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

Stasiun	Lokasi Sumber Pencemar	Koordinat Sampling	Keterangan
A	Desa Bunut Seberang	5°36'39.5"S 105°05'31.5"T	DAS dengan titik pembuangan <i>tailing</i> emas
B	Desa Way Urang	5°36'24.0"S 105°06'46.0"T	Daerah aliran limbah, terdapat lahan persawahan
C	Desa Kephong Jaya	5°36'30.4"S 105°06'26.0"T	Daerah aliran limbah, terdapat pemukiman padat
D	Desa Sanggi Pematang Awi	5°36'01.0"S 105°09'29.0"T	Daerah aliran muara

Pengambilan sampel dilakukan secara acak sebanyak 2 titik pada setiap stasiun dengan jarak 500 m dari titik pertama, dengan aliran air antar titiknya merupakan satu aliran sungai, yang pada akhirnya bermuara ke

Teluk Ratai. Lokasi penelitian dan stasiun pengamatannya dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Sketsa Lokasi Pengambilan Sampel pada Aliran Sungai Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung (ArcGIS, 2021).

3.3.1.1 Pengambilan Sampel Alga Hijau *Spirogyra* sp.

Pengambilan sampel alga hijau *Spirogyra* sp. diambil langsung secara manual dengan mengambil alga hijau menggunakan tangan. Sampel alga yang diambil disesuaikan dengan keadaan alga saat di lapangan. Pada stasiun A *Spirogyra* sp. berada di permukaan batu tidak terendam air, stasiun B dan C berada menempel pada batu di dasar perairan. Sedangkan pada stasiun D tidak ditemukannya sampel *Spirogyra* sp. Kemudian sampel alga dicuci dengan air sungai di lokasi pengambilan sampel lalu dimasukkan ke dalam kantong sampel (plastik zipper). Selanjutnya saat di laboratorium sampel dibilas menggunakan air bersih atau aquades untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Setelah dibersihkan sampel

disimpan ke dalam kantong sampel dan disimpan dalam suhu dingin keadaan tertutup sampai digunakan.

3.3.1.2 Pengambilan Sampel Air Sungai

Pengambilan sampel air sungai dengan menggunakan metode pengambilan sampel air sungai berdasarkan SNI 6989.57:2008 Air dan Air Limbah-Bagian 57 tentang metode pengambilan contoh air permukaan. Sampel air diambil dengan menggunakan alat pengambil sampel sederhana berupa botol air plastik biasa secara langsung pada permukaan air sungai. Selanjutnya sampel diberi label nama dan disimpan dalam *coolbox*.

3.3.2 Preparasi Sampel

3.3.2.1 Tahap Preparasi Sampel Alga Hijau

Sampel alga hijau yang didapatkan selanjutnya didestruksi, dengan tujuan untuk membuat sampel hancur agar lebih memudahkan tahap analisis. Sampel alga dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C dalam waktu 24 jam dan didinginkan, sampel yang telah kering kemudian ditumbuk hingga halus. Sampel kemudian ditimbang sebanyak 1 g dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Selanjutnya di tambahkan HCl, HNO₃ pekat, dan H₂O₂ masing-masing sebanyak 2 mL, tutup dan diamkan selama 24 jam. Larutan yang dihasilkan kemudian dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 95°C selama 1 jam. Setelah itu, volume keseluruhan ditingkatkan menjadi 50 mL dengan aquades (Sasmaz & Obek, 2009). Konsentrasi logam berat dalam alga terlarut ditentukan dengan instrumen *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES).

3.3.2.2 Tahap Preparasi Sampel Air

Sebanyak 10 mL sampel air dimasukkan ke dalam labu destruksi dengan menggunakan pipet 10 mL. Kemudian diberi 0,2 mL HNO₃ dan 0,1 mL

HCL dan dihomogenkan. Selanjutnya sampel dipanaskan menggunakan *hot plate* dengan suhu 95°C dalam 30 menit. Sampel 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. Sampel siap untuk dianalisis pada instrumen *Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) (Environmental Protection Agency, 1994).

3.3.3 Analisis Kandungan Logam Berat Menggunakan ICP-OES

Sampel yang sudah dilakukan preparasi, selanjutnya dianalisis menggunakan alat *Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) varian 715-ES untuk melihat konsentrasi logam berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Tembaga (Cu), Kromium (Cr), Nikel (Ni), Zink (Zn), Perak (Ag), Kobalt (Co), Besi (Fe), dan Mangan (Mn). Analisis dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

3.4 Analisis Data

Analisis data penelitian dilakukan secara deskriptif dengan melihat hasil pengukuran beberapa parameter penelitian. Parameter penelitian yang diukur adalah kandungan logam berat berupa Ag, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Co, Fe, Mn, dan Ni pada alga *Spirogyra* sp. dan air di perairan Sungai Way Ratai Kabupaten Pesawaran. Hasil pengujian logam berat pada sampel yang sudah diuji dengan menggunakan ICP-OES, selanjutnya dibandingkan sesuai dengan baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan.

Hasil pengujian logam berat untuk air dibandingkan berdasarkan ANZECC & ARMCANZ (2000) (*Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*) dan mengacu pada standar baku mutu air Kelas I dan Kelas 3 dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22

Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran VI Baku Mutu Air Nasional, sedangkan untuk alga berdasarkan pada peraturan Badan Standarisasi Nasional, SNI 7387:2009 mengenai batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan dan IAEA (*International Atomic Energy Agency*)-407 tahun 2003.

3.5 Akumulasi Logam Berat pada Alga Hijau *Spirogyra* sp. di Perairan Sungai Way Ratai

Faktor biokonsentrasi (BCF) digunakan untuk menganalisis kemampuan alga dalam mengakumulasi logam berat di perairan Sungai Way Ratai. Analisis faktor biokonsentrasi dilakukan dengan membandingkan kandungan logam berat dalam alga dengan kandungan logam berat di air. Perhitungan faktor biokonsentrasi menggunakan rumus (Potipat *et al.*, 2015) sebagai berikut:

$$BCF = \frac{C_{biota}}{C_{media\ ambien}}$$

Keterangan:

- BCF : Faktor biokonsentrasi
 C biota : Konsentrasi logam berat pada biota (alga)
 C media ambien : Konsentrasi logam berat dalam air

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Kandungan logam berat didapatkan bahwa logam berat Pb, Cd, Cu, Cr, Mn, Zn, Ag, Ni, dan Fe pada alga hijau *Spirogyra* sp. di setiap stasiun pengambilan sampel berada di atas standar baku mutu yang telah ditetapkan, sedangkan kandungan logam berat untuk logam Co tidak terdeteksi.
2. Kandungan logam berat di air sungai pada logam Ag stasiun A, Cu semua stasiun, Cd dan Fe stasiun B-D, Pb stasiun C, Mn dan Zn stasiun D telah melampaui baku mutu air yang telah ditetapkan, sedangkan kandungan logam Ag (stasiun B-D) dan Pb (stasiun A, B, D) tidak terdeteksi.
3. Kemampuan akumulasi alga hijau *Spirogyra* sp dalam air termasuk dalam kategori akumulatif tinggi sampai dengan sangat tinggi dengan dengan urutan akumulasi adalah $Mn > Fe > Zn > Cr > Pb > Cu > Cd > Ag$.

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk pengujian kandungan logam berat merkuri (Hg) baik terhadap biota maupun air di perairan Sungai Way Ratai.

DAFTAR PUSTAKA

- Abowei, J. F. N., & Ezekiel, E. N. 2013. The Potentials and Utilization of Seaweeds. *Scientia Agriculture*, 4(2), 58–66.
- Adi, S. E., & Dyah, N. S. 2010. Pengurangan Konsentrasi Ion Pb dalam Limbah Air Elektroplating dengan Proses Biosorpsi dan Pengadukan. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(1), 373–379.
- Afandi, Y. V. 2003. *Uji Penurunan Kandungan Nitrat dan Fosfat oleh Alga Hijau (Chlorella sp) secara Kontinyu*. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Afrizal, S., Chairul, & Suwirmen. 1999. Alga Mats dan beberapa Aspek Ekologinya pada beberapa Sungai dalam Kota Madya Padang. *Laporan Penelitian*, 1–13.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2008. *Toxicological Profile for Manganese*. U.S. Departemen of Health and Human Service. Public Health Service.
- Agung, N. B. 2000. *Materi Biologi untuk Kelas 1 Sekolah Menengah Atas*. Galeri Wacana Surabaya.
- Arini, K. R. D. 2015. *Pembuatan Biodiesel dari Mikroalga Chlorella sp. Melalui Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi*. Laporan Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Akcali, I., & Kucuksezgin, F. 2011. A Biomonitoring Study : Heavy Metals in Macroalgae from Eastern Aegean Coastal Areas. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 637–645. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.12.021>

- ANZECC, & ARMCANZ. 2000. Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality The Guidelines Australian and New Zealand Environment and Conservation Council Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. *National Water Quality Management Strategy*, 1(4), 314.
- Aziz, M. 2014. The Model of Traditional Gold Mining and Its Environmental Management in The Paningkaban Village, Gumelar District, Banyumas Regency, Central Java. *Dinamika Rekayasa*, 10(1 Pebruari 2014), 20–28.
- Betawi, A. S. 2012. *Analisis Kadar Logam Kadmium (Cd) yang Teradsorpsi pada Rumput Laut Merah (Euchema cottonii) di Kabupaten Takalar dengan Metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 6989.57:2008 Air dan Air Limbah – Bagian 57: Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2009. *SNI 7387:2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan*.
- Black, W. A. P., & Mitchell, R. L. 1952. *Trace Elements in the Common Brown Algae and in Sea Water*. 30(3), 575–584.
- Bold, H. C., & Wynne, M. J. 1985. *Introduction to the Algae : Structure and Reproduction*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall.
- Boss, C. B., & Fredeen, K. J. 1997. *Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. Perkin_Elmer Corporation. U.S.A.
- BP Pesawaran. 2018. *Potensi Pertambangan di Kabupaten Pesawaran*. <https://potensi.pesawarankab.go.id>
- Brahmbhatt, N., Patel, R. V, & Jasrai, R. T. 2012. Bioremediation Potential of *Spirogyra* sps & *Oscillatoria* sps for Cadmium. *Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research*, 2(2), 102–107.

- Campbell, N. A., Reece, J. B., & G., M. L. 2003. *Biologi Edisi Kelima. Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.
- Chen, Y., & Ahsan, H. 2004. Cancer Burden from Arsenic in Drinking Water in Bangladesh. *American Journal of Public Health*, 94(5), 741–744.
<https://doi.org/10.2105/AJPH.94.5.741>
- Connel, D. W., & Miller, G. J. 2006. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. UI-Press : Jakarta.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran : Hubungan dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Darnell, J., Lodish, H., & Baltimore, D. 1986. *Molecular Cell Biology*. Scientific American books, W H Freeman. Oxford. New York.
- Dewi, N. K. 2012. Biomarker Pada Ikan sebagai Alat Monitoring Pencemaran Logam Berat Kadmium, Timbal dan Merkuri di Perairan Kaligarang Semarang. *Tesis*. Jurusan Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bago Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Perairan*. Kanisius : Yogyakarta.
- Environmental Protection Agency. 1994. Determination of Elements and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emmission Spectropemtry-METHOD 200.7. In *US Environmental Protection Agency*.
- Ernst, W. H. O. 1998. *Effects of Heavy Metals in Plants at the Cellular and Organismic Level*. John Wiley & Sons. Heidelberg.
- Eshaq, F. S. 2011. Production of Bioethanol from Next Generation Feed-Stock Alga *Spirogyra* Species. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 3(2), 1749–1756.

- Ghosh, M., & Singh, S. P. 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of Its Byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1), 1–18.
- Hadi, F., Arifeen, M. Z. U., Aziz, T., Nawab, S., & Nabi, G. 2015. Phytoremediation of Cadmium by *Ricinus communis* L. in Hydroponic Condition. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 15(6), 1155–1162. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.6.94212>
- Hamidian, A. H., Zareh, M., Poorbagher, H., Vaziri, L., & Ashrafi, S. 2013. Heavy Metal Bioaccumulation in Sediment, Common Reed, Algae, and Blood Worm from the Shoor River, Iran. *Toxicology and Industrial Health*, 1–12. <https://doi.org/10.1177/0748233713500835>
- Hidayah, A. M., Purwanto, P., & Soeprobowati, T. R. 2014. Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 16(1), 1–9. <https://doi.org/10.14710/bioma.16.1.1-9>
- Hidayah, A. M., Purwanto, & Soeprobowati, T. R. 2012. Kandungan Logam Berat pada Air, Sedimen dan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawapening Kandungan Logam Berat. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Hou, X., & Jones, B. T. 2000. Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy. In *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (R.A. Meyer, pp. 1–19). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1021/ac60349a722>
- Husein, Atikah B., & Rohmatin, E. D. 2014. *Produksi Bioetanol dari Alga (Spirogyra sp.) dengan Proses Fermentasi*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kimia. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ika, Tahril, & Irwan Said. 2012. Analisis Logam Timbal (Pb) dan Besi (Fe) dalam Air Laut di Wilayah Pesisir Pelabuhan Ferry Taipa Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akademika Kimia*, 1(4), 181–186.

- Istarani, F., & Pandebesie, E. S. 2014. Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1).
- Ivanciuc, T., Ivanciuc, O., & Klein, D. J. 2006. Modeling the Bioconcentration Factors and Bioaccumulation Factors of Polychlorinated Biphenyls with Posetic Quantitative Super-structure / Activity Relationships (QSSAR). *Molecular Diversity*, 10, 133–145. <https://doi.org/10.1007/s11030-005-9003-3>
- Kacaribu, K. 2008. *Kandungan Kadar Seng (Zn) dan Besi (Fe) dalam Air Minum dari Depot Air Minum Isi Ulang Air Pegunungan Sibolangit di Kota Medan*. Tesis. Jurusan Ilmu Kimia. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Kaplan, D. 1988. *Algal Polysaccharides as Natural Metal Chelators*. BARD & north carolina biotechnology center.
- Khalaf, M. A. 2008. Biosorption of reactive dye from textile wastewater by non-viable biomass of *Aspergillus niger* and *Spirogyra* sp. *Bioresource Technology*, 99(14), 6631–6634. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.010>
- Kimball, J. W. 1998. *Biologi. Edisi Kelima. Jilid I*. Erlangga. Jakarta.
- Kristianingrum, S. 2006. *Metode Alternatif untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat dalam Lingkungan*. Jurdik Kimia FMIPA UNY. Yogyakarta.
- Kumar, M., Ranganathan, S., & Sinha, S. N. 201). Kinetics of Reduction of Different Manganese Ores. *Proceedings of Innovations in Ferro Alloy Industry INFACON XI Conference*, 241–246.
- Manahan, S. C. 1994. *Environmental Chemistry, 6th edition*. Willard Grand Press, Boston.
- Mao, J., Won, S. W., Choi, S. B., Lee, M. W., & Yun, Y. S. 2009. Surface Modification of the *Corynebacterium Glutamicum* Biomass to Increase Carboxyl Binding Site for Basic Dye Molecules. *Biochemical Engineering Journal*, 46, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.04.004>

- Mirdat, Patadungan, Y. S., & Isrun. 2013. Status Logam Berat Merkuri (Hg) Dalam Tanah Pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas Di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *E-Journal Agrotekbis*, 1(2), 127–134.
- Mishra, A., Kavita, K., & Jha, B. 2011. Characterization of Extracellular Polymeric Substances Produced by Micro-algae *Dunaliella salina*. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 852–857.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.067>.
- Mulyani, S., Martuti, N. K. T., & Irsadi, A. 2016. Pola Akumulasi Logam Cu Ikan Bandeng Selama Periode Pertumbuhan di Tambak. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 14(2), 151–158.
- Naja, G., & B.Volesky. 2011. The Mechanism of Metal Action and Anion Biosorption. In P. Kotrba, M. Mackova & T. Macek (Eds.). *Microbial biosorption of metals*. In *Springer Science+Business Media B.V.*
- Nirmal Kumar, J. I., & Oommen, C. 2012. Removal of heavy metals by biosorption using freshwater algae *Spirogyra hyalina*. *Journal of Environmental Biology*, 33(1), 27–31.
- Normaningsih, Y. 2009. Kandungan Mangan dalam Air Sungai Riam Kanan dan Hati Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L) di Kecamatan Karang Intan Kabupaten Banjar. *Bioscientiae*, 6(2), 15–25.
- Obolewski, K., & Glińska-Lewczuk, K. 2013. Distribution of heavy metals in bottom sediments of floodplain lakes and their parent river - a case study of the Słupia. *Journal of Elementology*, 18(4), 673–682.
<https://doi.org/10.5601/jelem.2013.18.4.435>
- Palar, H. (1994). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Palar, H. (2004). *Pencemaran dan Toksilogi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Palar, H. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.

- Pattanaik, D., & Pattanaik, S. 2012. Reduction of Hexavalent Chromium by *Spirogyra* Species. *Journal of Environment*, 1(3), 100–104.
- Permatasari, A. 2017. *Analisis Logam Berat Cu, Co, fsn V pada Sedimen Perairan Kabupaten Mamuju Menggunakan Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)*. Skripsi. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Pesawaran, Pemda. 2016. *Data Sektor Kelautan dan Perikanan*. Pemerintah Daerah Kabupaten Pesawaran. Pesawaran.
- Potipat, J., Tangkrock-olan, N., & Helander, H. F. 2015. Bioconcentration Factor (BCF) and Depuration of Heavy Metals of Oysters (*Saccostrea cucullata*) and Mussels (*Perna viridis*) in the River Basins of Coastal Area of Chanthaburi Province, Gulf of Thailand. *Environment Asia*, 8(2), 118–128.
- Priyanto, B., & Prayitno. 2008. *Fitoremediasi sebagai sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*. Diakses melalui <http://tl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm>. diakses pada tanggal 12 Januari 2021.
- Purnamawati, F. S., Soeprobowati, T. R., & Izzati, M. 2015. Potensi *Chlorella vulgaris* Beijerinck dalam Remediasi Logam Berat Cd dan Pb Skala Laboratorium. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 16(2), 102–113. <https://doi.org/10.14710/bioma.16.2.102-113>
- Rafly, M. 2016. *Biosorpsi Logam Timbal dengan Menggunakan Khamir Saccharomyces cerevisiae Terimmbolisasi Natrium Alginat*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Alauddin. Makasar.
- Rahmah, S. 2019. Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu pada Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granosa* Linn, 1758) di Perairan Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 6(1), 22–27. <https://doi.org/10.29103/aa.v6i1.887>
- Rajfur, M. 2013. Algae as a Source of Information on Surface Waters Contamination with Heavy Metals. *Ecological Chemistry and Engineering*. A, 20(10), 1089–1101. [https://doi.org/10.2428/ecea.2013.20\(10\)099](https://doi.org/10.2428/ecea.2013.20(10)099)

- Rangsayatorn, N., Upatham, E. S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Lanza, G. R. (2002). Phytoremediation potential of *Spirulina (Arthrospira) platensis*: Biosorption and toxicity studies of cadmium. *Environmental Pollution*, 119(1), 45–53. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00324-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00324-4)
- Regine, H. S., Vierira, F., & Volesky, B. 2000. Biosorption: a Solution to Pollution? *International Microbiology*, 3(1), 17–24. <https://doi.org/10.2436/im.v3i1.9237>
- Ritabulan. 2011. *Pengaruh Logam Berat Argentum (Ag) pada Reproduksi dan Keanekaragaman Hayati*. Ekologi dan Pembangunan. Bogor.
- Rochyatun, E., Kaisupy, M. T., & Rozak, A. 2006. Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Makara Sains*, 10(1), 35–40.
- Rochyatun, E., & Rozak, A. 2007. Perairan Teluk Jakarta. *Makara Sains*, 11(1), 28–36.
- Salgado, L. T., Andrade, L. R., & Filho, G. M. A. 2005. *Localization of specific monosaccharides in cells of the brown alga Padina gymnospora and the relation to heavy-metal accumulation*. 123–128. <https://doi.org/10.1007/s00709-004-0066-2>
- Sanusi, H. S. 2006. *Kimia Laut. Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan*. Institut Pertanian Bogor.
- Sasmaz, A., & Obek, E. 2009. The accumulation of arsenic, uranium, and boron in *Lemna gibba* L . exposed to secondary effluents. *Ecological Engineering*, 35, 1564–1567. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.06.007>
- Schiavon, M., Pilon-Smits, E. A. H., Wirtz, M., Hell, R., & Malagoli, M. 2008. Interactions between Chromium and Sulfur Metabolism in *Brassica juncea* . *Journal of Environmental Quality*, 37(4), 1536–1545. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0032>
- Selpiani, L., Umroh, & Rosalina, D. 2015. Konsentrasi logam berat (Pb, Cu) pada kerang darah (*Anadara granosa*) di kawasan pantai Keranji Bangka Tengah dan pantai Teluk Kelabat Bangka Barat. *Oseatek*, 9(01), 21–34.

- Setiawan, H. 2013. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat pada Vegetasi Mangrove di Pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.22146/jik.6134>
- Slamet, J. S. 1996. *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah Mada Univeristy Press.
- Sumual, H. 2009. Karakterisasi Limbah Tambang Emas Rakyat Dimembe Kabupaten Minahasa Utara. *Agritek*, 17(5), 932–938.
- Sunu, P. 2001. *Melindungi Lingkungan*. P.T. Gramedia. Jakarta.
- Supriyantini, E., & 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), 133–140. <https://doi.org/10.14710/jkt.v18i1.512>
- Susilawati. 2009. *Studi biosorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Susiyadi, D. M., Dasna, I. W., & Budiasih, E. 2013. Pemisahan dan Karakterisasi Emas dari Batuan Alam dengan Metode Natrium Bisulfit. *Jurnal Online Universitas Negeri Malang*, 2(1), 1–11.
- Suyono, A. 2011. *Dampak Penggunaan Hg pada Penambangan Emas Rakyat terhadap Lingkungan*. Universitas Pembangunan Nasional, Veteran. Yogyakarta.
- Tarigan, A. R. B. 2017. Analisa Kadar Besi (Fe) dan Seng (Zn) pada Sampel Air Sumur dari Kampung Susuk Xi dan Pasar VI Padang Bulan dengan Menggunakan Inductively Couple Plasma (ICP). Tugas Akhir. Jurusan Kimia. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Tebbutt, T. H. Y. 2002. *Principles of water quality control. Fourth edition (fifth)*. Butterworth-Heinemann.
- Thomas, R. 2003. *Practical Guide to ICP-MS: A Tutorial for Beginners*. Second

Edition. USA: CRC Press.

Tolcin, A. C. 2008. *Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*. USA: USGS.

US EPA. 2004. *The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of the United States, National Sediment Quality Survey: Second Edition*. U. S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

Vouk, V. 1986. General Chemistry of Metals. In: Freiberg. L, Nordberg. G. F, and Vouk. V. B (Eds). *Handbook on The Toxicology of Metals*. Elsevier, New York.

Wang, J., & Chen, C. 2006. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances*, 24(5), 427–451.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.001>

Wardani, D. A. K., Dewi, N. K., & Utami, N. R. 2014. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Daging Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Unnes Journal of Life Science*, 3(1), 1–8.

Weitzel, R. L. 1979. *Methods and Measurements of Periphyton Communities: A Review*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia. London.

Widowati, W., Sastiono, A., & Rumampuk, R. J. 2008. *Efek Toksik Logam: Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Penerbit Andi. Yogyakarta.

Wilde, E. W., & Benemann, J. R. 1993. Bioremoval of Heavy Metals by The Use of Microalgae. *Biotechnology Advances*, 11, 781–812.
[https://doi.org/10.1016/0734-9750\(93\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0734-9750(93)90003-6)

William E, and Lynch Jr. 2009. *Controlling Filamentous Algae in Ponds*. Ohio State University. US.

Wills, B. A., & Napier-Munn, T. J. 2005. *Mineral Processing Technology. An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, Seventh Edition*. Elsevier Science & Technology Books.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4450-1.X5000-0>

- Yilmaz, M., Tay, T., Kivanc, M., & Turk, H. 2010. Removal of copper(II) ions from aqueous solution by a lactic acid bacterium. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27(2), 309–314. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322010000200009>
- Zhang, B., & Xue, Z. 2013. Kinetics Analyzing of Direction Reduction on Manganese Ore Pellets Containing Carbon. *International Journal of Nonferrous Metallurgy*. 2013(2), 116–120. <https://doi.org/10.4236/ijnm.2013.23017>
- Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J., & Jiang, G. 2008. Biomonitoring: An Appealing Tool for Assessment of Metal Pollution in The Aquatic Ecosystem. *Analytica Chimica Acta*, 606(2), 135–150. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.11.018>