

**FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (Cu) OLEH MIKROALGA
Chlorella Sp HASIL KULTIVASI MEDIA EKSTRAK TAUGE
BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI**

SKRIPSI

**Oleh:
YUNI AULADATUL AULIYAH
NIM. 16630071**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (Cu) OLEH MIKROALGA
Chlorella Sp HASIL KULTIVASI MEDIA ESKTRAK TAUGE
BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI**

SKRIPSI

**Oleh:
YUNI AULADATUL AULIYAH
NIM. 16630071**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN)Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

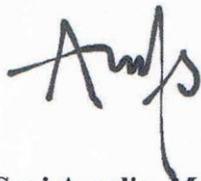
**FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (CU) OLEH MIKROALGA
Chlorella sp HASIL KULTIVASI MEDIA EKSTRAK TAUGE
BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI**

SKRIPSI

Oleh:
YUNI AULADATUL AULIYAH
NIM. 16630071

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 31 Mei 2021

Pembimbing I



Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821104 200901 2 007

Pembimbing II



A. Ghaniam Fasya, M.Si
NIP. 19820616 200604 1 002

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

**FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (CU) OLEH MIKROALGA
Chlorella sp HASIL KULTIVASI MEDIA EKSTRAK TAUG
BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI**

SKRIPSI

**Oleh:
YUNI AULADATUL AULIYAH
NIM. 16630071**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 31 Mei 2021**

**Penguji Utama : Diana Candra Dewi, M.Si
NIP. 197779720 200312 2 001**


(.....)

**Ketua Penguji : Vina Nurul Istighfarini, M.Si
LB. 63025**


(.....)

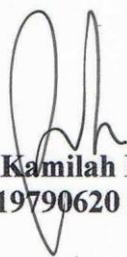
**Sekretaris Penguji : Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821104 200901 2 007**


(.....)

**Anggota Penguji : A. Ghanaim Fasya, M.Si
NIP. 19820616 200604 1 002**


(.....)

**Mengesahkan,
Ketua Program Studi**


**Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yuni Auladatul Auliyah

NIM : 16630071

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul penelitian : Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) Oleh Mikroalga
Chlorella sp Hasil Kultivasi Media Ekstrak Tauge
Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 22 Juni 2021

Yang membuat
pernyataan,



Yuni Auladatul Auliyah
NIM. 16630071

MOTTO

“Kemenangan terbesar kita adalah bukan karena tidak pernah gagal, tapi bangkit setiap kali kita gagal. *Everything gonna be okay*”

“Kebahagiaan itu ibaratnya kupu-kupu, jika kau mengejarnya, ia melarikan diri darimu, tapi jika kamu duduk dengan tenang, ia akan turun ke tanganmu. Maka bersabarlah karena bersabar itu indah”

~ Syekh Ali Jabir ~

PERSEMBAHAN

Syukur *Alhamdulillah* kepada Allah Swt, yang telah memberikan kesempatan dan kemampuan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Saya persembahkan karya sederhana ini kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Marzuki dan Ibu Susuti Hidayati dengan segala bentuk doa, motivasi dan dukungan sehingga saya dapat menyelesaikan karya ini sampai ahir
2. Adik saya, Aura Shidqy Azkiya yang selalu mendoakan dan menghibur saya. Semoga Allah memudahkan untuk menggapai cita-cita. Kakek, Nenek, Tante dan Om saya serta Bapak Ainul Hadi yang telah memberikan doa dan nasihatnya.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku dosen wali, yang telah memberikan motivasi. Ibu Suci Amalia, M.Sc dan Bapak A. Ghanaim Fasya, M.Si selaku pembimbing yang dengan sabar memberikan arahan dan motivasi kepada saya. Semoga Allah membalas semua niat baik Bapak dan Ibu.
4. Teman seperjuangan Umi Hasanah, Vita, Zulia, Ainun, Vera, Vina, Vivi septi, Vivi Ambar serta Kimia angkatan 2016, terima kasih sudah mengisi cerita perjalanan saya mencapai gelar sarjana. Sahabat saya farakhin, fitriyah, ziyah, idan dan firda yan telah memberikan doa, hiburan, motivasi dan menjadi pendengar terbaik. Semoga Allah selalu memudahkan urusan kalian.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga penyusun dapat melaksanakan penyusunan proposal skripsi yang berjudul **“Fitoremediasi Logam Tembaga (Cu) Oleh Mikroalga *Chlorella sp* Hasil Kultivasi Media Ekstrak Tauge Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dan Pemaparan Waktu**“. Selama penyusunan proposal skripsi tidak sedikit hambatan yang saya hadapi. Namun, berkat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, hambatan- hambatan tersebut dapat terlampaui. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan segenap rahmat- Nya kepada penyusun sehingga penyusunan proposal skripsi dapat terlaksana dengan baik
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan baik secara moral, material maupun spiritual
3. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Suci Amalia M,Sc dan bapak A. Ghanaim Fasya M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu membimbing, memotivasi, mengarahkan serta memberikan masukan dalam penyusunan proposal skripsi ini.
5. Seluruh dosen jurusan kimia fakultas sains dan teknologi universitas islam negeri maulana malik Ibrahim malang yang telah memberikan ilmu,

pengetahuan, pengalaman, wacana, serta wawasannya sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.

6. Pejuang fitoremediasi, kimia B dan karbon 2016 selaku teman seperjuangan jurusan kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) MALIKI Malang yang telah dengan suka rela membagikan informasi dan motivasi kepada Penulis.
7. Kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah ikut memberikan bantuan motivasi selama penyusunan skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sehingga dapat menjadi bahan acuan untuk penulisan selanjutnya. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis sendiri maupun pembaca. Terima kasih.

Malang, 17 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT.....	xvi
مستخلص البحث.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Ganggang Hijau (<i>Chlorella sp</i>)	7
2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi.....	7
2.1.2 Reproduksi	8
2.2 Kultur <i>Chlorella sp</i>	9
2.2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Perkembang Biakan <i>Chlorella Sp</i>	9
2.2.2 Fase Perkembang Biakan <i>Chlorella Sp</i>	10
2.3 Pencemaran kualitas air	11
2.4 Logam berat tembaga (Cu)	12
2.5 Metode pengolahan limbah	14
2.5.1 Fitoremediasi.....	14
2.5.2 Koagulasi-Flokulasi	16
2.5.3 Adsorpsi	17
2.6 <i>Chlorella</i> sebagai agen fitoremediasi	17
2.7 <i>Chlorella sp</i> Bersifat Akumulator	19
2.8 Senyawa Fitokhelatin	22
2.9 Parameter Fitoremediasi	25
2.10 Destruksi Sampel.....	26
2.10.1 Destruksi dengan <i>Microwave Digestion</i>	29
2.10.2 Destruksi Basah Tertutup dengan Refluks.....	29
2.11 Prinsip analisis kadar Cu dengan AAS.....	30
2.12 Metode Uji dengan NOVA.....	32
2.12.1 <i>One Way ANOVA</i>	32
2.12.2 <i>two way ANOVA</i>	33

2.13	Fitoremediasi <i>Chlorella sp</i> dalam perspektif islam.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2	Alat dan Bahan	37
3.2.1	Alat	37
3.2.2	Bahan	37
3.3	Rancangan Penelitian	38
3.5	Metode Penelitian.....	38
3.5.1	Kultivasi Sampel.....	38
3.5.2	Preparasi Konsentrasi Lrutan Logam Berat Cu	39
3.5.3	Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Cu	39
3.5.4	Destruksi Sampel	40
3.5.5	Pembuatan kurva kalibrasi	41
3.5.7	Karakterisasi sampel <i>Chlorella sp</i> menggunakan FTIR	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Kultivasi mikroalga <i>Chlorella sp</i>	43
4.2	Uji konsentrasi awal logam Cu pada sampel dan air hasil kultivasi	44
4.3	Penentuan konsentrasi logam Cu yang diserap oleh <i>Chlorella sp</i>	46
4.4	Proses penyerapan logam oleh <i>Chlorella sp</i>	48
4.4.1	Proses adsorpsi	48
4.4.2	Proses absorpsi.....	49
4.4.3	Penentuan gugus fungsi dengan FTIR.....	52
4.5	Penentuan Persen Tembaga yang T erserap dalam <i>Chlorella sp</i>	54
4.6	Parameter Fitoremediasi	56
4.6.1	Penentuan Bioconcentration Factor (BCF)	56
4.7	analisis pengaruh variasi konsentrasi dan variasi waktu menggunakan one-way ANOVA	58
4.8	Kajian Fitoremediasi Dalam Persp ektif Islam	60
BAB V PENUTUP.....		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	63
LAMPIRAN.....		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daur hidup dan bentuk sel <i>Chlorella sp</i>	8
Gambar 2.2	Grafik pola perkembangan <i>Chlorella sp</i>	12
Gambar 2.3	Mekanisme pengikatan logam oleh selulosa.....	19
Gambar 2.4	Tekanan oksidatif yang diinduksi oleh logam berat.....	22
Gambar 2.5	Struktur fitokhelatin	23
Gambar 4.1	Mekanisme selulosa mengikat Cu.....	48
Gambar 4.2	Perkiraan struktur senyawa kompleks Cu-Fitokhelatin	50
Gambar 4.3	Hasil spektra FTIR sampel mikroalga <i>Chlorella sp</i>	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu penyerapan logam menggunakan mikroalga	18
Tabel 3.1 Pemaparan sampel dan control	40
Tabel 3.2 Hasil pengukuran absorbansi variasi konsentrasi	42
Tabel 4.1 Hasil perhitungan konsentrasi yang berkurang pada pemaparan.....	47
Tabel 4.2 Interpretasi bilangan gelombang hasil FTIR pada sampel sebelum dan sesudah dilakukan pemaparan dengan logam tembaga	52
Tabel 4.3 Persen tembaga teremediasi <i>Chlorella</i> sp.....	54
Tabel 4.4 Hasil pengukuran BCF.....	56
Tabel 4.5 Hasil uji one-way ANOVA.....	57
Tabel 4.6 Hasil uji BNT	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rencana penelitian.....	75
Lampiran 2 Diagram alir.....	76
Lampiran 3 Perhitungan pembuatan reagen.....	80
Lampiran 4 Data hasil analisis statistika.....	86
Lampiran 5 Risk assessment.....	90
Lampiran 6 Dokumentasi.....	93

ABSTRAK

Auliyah, Y.A. 2021. **Fitoremediasi logam tembaga (Cu) Oleh *Chlorella sp* Hasil Kultivasi Media Ekstrak Tauge dengan Variasi Konsentrasi**. Proposal Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Suci Amalia, M.Sc; Pembimbing II: A. Ghanaim Fasya, M.Si.

Kata Kunci: Fitoremediasi, *Chlorella sp*, kultivasi, Logam Tembaga (Cu), *microwave digestion*.

Chlorella sp merupakan mikroalga yang mampu hidup di daerah ekstrim dengan senyawa fitokhelatin yang tersusun dari asam amino glutamin, sistein dan glisin sebagai bentuk adaptasi, sehingga *Chlorella sp* dapat dijadikan sebagai alternatif dalam pengolahan limbah secara ekonomis dan aman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *Chlorella sp* dalam meremediasi logam Cu berdasarkan perbedaan konsentrasi logam Cu yaitu 0,6; 0,8 dan 1,0 mg/L dengan waktu pemaparan 8 hari.

Sampel *Chlorella sp* hasil kultivasi selama 6 hari, dilakukan pemaparan dengan logam Cu. Pada penentuan kadar logam, dilakukan proses destruksi tertutup untuk sampel dengan menggunakan *microwave digestion*. Analisis kandungan logam Cu pada *Chlorella sp* menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA) dan hasil analisis dilakukan uji statistik menggunakan metode *one-way ANOVA*.

Hasil analisis menunjukkan *Chlorella sp* meremediasi logam berat dengan baik, dan tergolong dalam tanaman fitoekstraksi yang dibuktikan dengan nilai BCF >1. Yaitu pada konsentrasi tembaga 0,6; 0,8 dan 1 ppm memiliki nilai BCF 5,45; 4,62 dan 4,59. Tren penyerapan yang dilakukan oleh *Chlorella sp* yaitu semakin tinggi konsentrasi logam berat tembaga dalam lingkungannya maka semakin tinggi daya akumulasi. Hal ini diperkuat dengan hasil karakterisasi menggunakan FTIR yang menunjukkan adanya serapan khas gugus pengikat logam pada bilangan gelombang 913,14 cm⁻¹. Serapan tersebut merupakan vibrasi dari gugus thiol (S-H) yang terikat pada sistein.

ABSTRACT

Auliyah, Y.A. 2021. **Phytoremediation of Copper (Cu) by *Chlorella* sp. from Cultivation Result of Bean Sprouts Extract Medium with Concentration Variation.** *Research Result.* Chemistry Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisor I: Suci Amalia, M.Sc; Supervisor II: A. Ghanaim Fasya, M.Si.

Keywords: Phytore mediation, *Chlorella* sp., Cultivation, Copper (Cu), microwave digestion.

Chlorella sp. is a microalgae that can live in the extreme areas with phytochelatin compounds composed of the amino acids are glutamine, cysteine and glycine as a form of adaptation. So, *Chlorella* sp. can be used as a cheap and safe alternative for waste treatment. The aim of this research was to assess the ability of *Chlorella* sp. in remediating Cu based on the difference of Cu concentration (0.6; 0.8; and 1.0 mg/L) with the exposure time for 8 days.

The cultivation result of *Chlorella* sp. for 6 days was exposed to Copper. For the determination of the absorbed metal content, the sample was digested using microwave digestion method. While the Copper content was analyzed using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The data from the result was analyzed using one-way ANOVA.

The result showed that *Chlorella* sp. remediated heavy metals well and is classified as a phytoextraction plants as evidenced by BCF value >1 . Copper with concentrations of 0.6; 0.8 and 1 ppm have BCF values of 5,45; 4,62 and 4,59. The higher concentrations of heavy metals in the environment, the higher accumulation power of *Chlorella* sp. in absorbing the metals. This was reinforced by the results of characterization using FTIR which showed the presence of a typical metal binding group at wave number $913,14\text{ cm}^{-1}$. The absorption is a vibration of thiol compound (S-H) bound to cysteine.

مستخلص البحث.

اوليه ، ي. أ. ٢٠٢١ . المعالجة النباتية لمعدن النحاس (Cu) بواسطة شلوريلا سف (*Chlorella sp*) نتيجة زراعة براعم الفاصوليا وسط مستخلصات بتركيزات مختلفة. ندوة نتيجة البحث العلمي. قسم الكيمياء ، كلية العلوم و التكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: سوسي أماليا الماجستير ؛ المشرف الثاني: أ. غنائم فاشا الماجستير.

الكلمات المفتاحية: المعالجة النباتية ، شلوريلا سف (*Chlorella sp*) ، الزراعة ، معدن النحاس (Cu) ، الهضم بالميكروويف

شلوريلا سف (*Chlorella sp*) هي طحالب دقيقة يمكن أن تعيش في المناطق المتطرفة مع مركبات فيتوكلاتين (Fitokhelatin) تتكون من الأمينية الجلوتامين (glutamin) ، السيستين (sistein) و الجليسين (glisin) كشكل من أشكال التكيف ، بحيث يمكن استخدام شلوريلا سف (*Chlorella sp*) كبديل في معالجة النفايات اقتصاديا وآمنا . تهدف هذه الدراسة إلى تحديد قدرة شلوريلا سف (*Chlorella sp*) على معالجة معدن النحاس بناءً على الاختلافات في تركيز معدن النحاس ، و هي ٠,٦ ؛ ٠,٨ و ١,٠ مجم / لتر مع فترة تعرض ثمانية أيام.

تمت زراعة عينات شلوريلا سف (*Chlorella sp*) لمدة ٦ أيام ثم تعريضها لمعدن النحاس. عند تحديد المحتوى المعدني ، يتم إجراء عملية الهضم المغلق للعينة باستخدام الهضم بالميكروويف. تحليل المحتوى المعدني للنحاس في شلوريلا سف (*Chlorella sp*) باستخدام أداة مطيافية الامتصاص الذري (SSA) و أجريت نتائج التحليل اختبارات إحصائية باستخدام طريقة تحليل التباين أحادية الاتجاه (one-way ANOVA). أظهر التحليل أن قدرة شلوريلا سف (*Chlorella sp*) على معالجة المعادن الثقيلة جيدة ، وتصنف على أنها تراكم معتدل كما يبرهن من قيمة عامل التركيز الأحيائي (BCF) في نطاق < 1 . بتركيز النحاس ٠,٦ ؛ ٠,٨ و ١ جزء في المليون لها قيمة معامل التركيز الأحيائي ٤,٤٥ ؛ ٤,٦٢ و ٤,٥٩ . اتجاه الامتصاص الذي تقوم به شلوريلا سف (*Chlorella sp*) هو أنه كلما زاد تركيز معدن النحاس الثقيل في البيئة ، زادت قوة التراكم. تم تعزيز ذلك من خلال نتائج التوصيف باستخدام FTIR و التي أظهرت وجود مجموعة رقم ٩١٣,١٤ سم^{-١} . الامتصاص هو اهتزاز من مجموعة (SH) المرتبطة بالسيستين (sistein).

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi di Indonesia terjadi kenaikan secara pesat, terutama dibidang teknologi industri. Semakin cepat pertumbuhan industri berdampak pada pertumbuhan limbah hasil samping proses industri yang dihasilkan semakin banyak dan beraneka ragam (Haryati, dkk., 2012).

Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair cukup banyak yaitu industri pelapisan logam, salah satu limbah logam yang dihasilkan adalah logam tembaga (Cu), limbah ini dihasilkan dari proses pencucian, pembersihan dan penyepuhan. Industri pelapisan saat ini yang masih menggunakan metode sederhana, dimana dalam pembuangan limbah hanya menggunakan bak penampung. Dengan demikian dapat menurunkan kualitas lingkungan perairan (Dewi, dkk., 2009).

Seperti yang telah dijelaskan dalam Qur'an, ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمَلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya: "Telah tampak kerusakan di darat dan di Laut disebabkan perbuatan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)". (QS. ar-Rum: 41).

Ayat 41 surat ar-Rum menjelaskan tentang perintah manusia di bumi ini selain untuk beribadah kepada Allah juga diperintahkan memanfaatkan, mengelolah dan memelihara alam semesta yang biasa disebut dengan istilah khalifah. Islam mengajarkan agar manusia senantiasa menjaga lingkungan.

Tercermin dalam beberapa pelaksanaan ibadah sebagaimana dalam ibadah haji yang melarang untuk menebang pohon dan membunuh binatang ketika dalam keadaan ihram, jika hal itu dilanggar maka akan dikenai denda, sehingga turun kemabali ayat yang menjelaskan anjuran untuk menjaga lingkungan. Sebagaimana dalam Firmannya QS. al-A'raf ayat 56.

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya: “Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di muka bumi sesudah (Allah) memeperbaikinya dan berdoalah kepadanya rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”. (QS. al-A'raf :56)

Ayat 56 surat al-A'raf mengandung seruan untuk manusia agar menjaga alam dan mengurangi kerusakan yang terjadi, sehingga menjadi motivasi penelitian ini dilakukan. Kualitas perairan yang semakin menurun akibat adanya bahan cemar, khususnya logam berat dapat mempengaruhi biota beserta ekosistem di dalamnya yang berdampak pada kehidupan manusia karena ketergantungannya terhadap lingkungan perairan laut yang sangat luas. Jika tidak ada tindak lanjut dari kondisi ini, maka kedepannya akan semakin memperburuk lingkungan akibat meningkatnya status pencemaran dan akumulasi logam berat pada biota laut yang membahayakan kesehatan manusia (Makkasau, dkk., 2011).

Logam berat merupakan polutan bagi kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan. Salah satu jenis logam berat yang berbahaya bagi makhluk hidup adalah logam tembaga (Cu). Keracunana Cu pada manusia dapat menyebabkan dampak yang cukup besar yaitu terjadinya *hepatic cirrhosis*, penurunan kerja ginjal serta kerusakan pada otak (Palar, 2008).

Banyaknya logam berat Cu dapat ditunjukkan oleh data Sumanda (2006) yaitu diketahui konsentrasi logam Cu pada limbah elektroplating berkisar 5,7

mg/L, sedangkan berdasarkan baku mutu limbah elektroplating berdasarkan SKGUB Jawa Timur No. 45 tahun 2002 untuk tembaga adalah 0,6 mg/L. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa limbah elektroplating berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan dan perlu dilakukan pengolahan.

Fitoremediasi berasal dari dua kata yaitu *phyto* artinya tanaman atau tumbuhan sedangkan *remediation* yang artinya memperbaiki atau membersihkan. Proses fotoremediasi ini merupakan metode yang ekologis, ekonomis dan efektif dalam mengelolah lingkungan serta menangani pencemaran terhadap lingkungan oleh logam berat dan B3 (Irwanto, 2010).

Fitoremediasi terdiri dari beberapa jenis yaitu Rizofiltrasi, Fitoekstraksi, Fitostabilisasi, Fitodegradasi, dan Fitovolatilisasi. Rizofiltrasi merupakan pemanfaatan kemampuan akar untuk melakukan penyerapan, pengendapan dan pengakumulasian limbah dari suatu aliran limbah.

keseimbangan dalam ekosistem air baik secara langsung maupun tidak langsung sebagai sumber organik dapat diseimbangkan dengan tanaman air, peranan ini berfungsi sebagai tempat berlindung anak ikan dan sebagai media bertelur bagi ikan maupun binatang air lainnya. Kotoran yang berukuran sangat kecil dapat diserap oleh tanaman air, dengan demikian peranan tumbuhan air yaitu sebagai indikator kualitas air serta agen pengelola polutan yang bernilai ekonomis dan alami (Irwanto, 2010). Salah satu jenis tumbuhan air yang dapat digunakan sebagai pengelola polutan adalah *Chlorella sp.*

Chlorella sp. adalah alga berukuran mikroskopis dan berwarna hijau. *Chlorella sp* termasuk jenis alga komposit terdapat di air laut dan air tawar serta air payau (Kumar dan Singh, 1976., Bold dan Wayne, 1984). Perkembangan

dapat dilakukan dengan proses pembiakan menggunakan penambahan nutrisi dari bahan alam (Prihantini, Putri & Yuniati, 2005) atau penambahan bahan kimia (Tetelepta, 2011).

Media ekstrak tauge merupakan media pertumbuhan yang diapat digunakan untuk pembiakan mikroalga, hal ini dikarenakan di dalam Media Ekstrak Tauge mengandung unsur makro dan mikro seperti, vitamin, mineral serta asam amino yang berguna dalam proses pertumbuhan (Richmond, dkk., 1986).

Huang (2006) menyatakan bahwa *Chlorella sp* merupakan akumulator yang signifikan, hal ini dikarenakan tingkat pertumbuhannya yang tergolong cepat, kultur yang digunakan murah dalam skala besar dan juga minimal pengaruh lingkungan yang negatif. Selain itu *Chlorella* juga memiliki sifat *Fitokhelatin* yaitu polipeptida yang mampu membuat mikroalga dapat hidup pada daerah yang tercemar oleh logam berat, yaitu logam akan terakumulasi di dalam vakuola sel (Sabila, dkk., 2013).

Suhendrayatna (2001) menyatakan bahwa dalam proses biosorpsi ion logam berat pada konsentrasi tertentu tanpa menyebabkan keracunan pada organisme tersebut dikarenakan protein dan polisakarida yang terdapat dalam *Chlorella sp* yang mempengaruhinya. Kondisi yang seperti ini diakibatkan karena adanya ikatan kovalen antar ion logam berat dengan gugus amino dan gugus karbonil. Namun ketika logam berat berada pada konsentrasi tinggi maka akan menyebabkan keracunan pada organisme sehingga berdampak pada penurunan populasi fitoplankton.

Menurut Widiyani dan Dewi (2014) melakukan fitoremediasi logam Cd dengan menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* hasil kultivasi yang berumur

7 hari dengan variasi konsentrasi yaitu 1, 3 dan 5 ppm menghasilkan penyerapan dari masing-masing konsentrasi yaitu 0,2658; 0,4008 dan 0,4494 ppm. Peningkat konsentrasi logam yang diserap terjadi seiring dengan kenaikan konsentrasi.

Zayadan, dkk (2013) telah melakukan uji bioakumulasi logam berat menggunakan mikroalga dan salah satunya yaitu *Chlorella sp* hasil dari kultivasi. Penelitian yang dilakukan menggunakan kontaminasi logam berat Cu dengan konsentrasi 100 mg/L selama 24 jam, hasil uji menunjukkan bahwa *Chlorella sp* dapat mengakumulasi logam Cu sebanyak 10 mg/L. Selain itu Dewi dan Nuraiva (2018) juga menyatakan pada penelitiannya ketika *Chlorella vulgaris* dipapar dengan logam Pb dengan konsentrasi 1, 3 dan 5 mg/L menghasilkan nilai konsentrasi penyerapan yang semakin meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi yaitu 0,1453; 0,4144 dan 0,5305 mg/L.

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahap yaitu kultivasi *Chlorella sp*, pemaparan sampel dengan logam Cu dan proses analisa hasil dari pemaparan logam Cu menggunakan instrument AAS pada panjang gelombang 324,8 nm. Dari hasil analisis ini dihasilkan kadar logam Cu yang terserap oleh *Chlorella sp*. dan pada konsentrasi berapakah logam Cu akan terserap maksimal oleh *Chlorella sp*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kemampuan *Chlorella sp* sebagai agen fitoremediasi terhadap logam tembaga (Cu) ?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi tembaga terhadap kemampuan fitoremediasi *Chlorella sp* ?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui kemampuan *Chlorella sp* sebagai agen fitoremediasi terhadap perairan yang tercemar logam tembaga (Cu).
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi tembaga terhadap kemampuan fitoremediasi *Chlorella sp*.

1.4 Batasan Masalah

1. Tanaman *Chlorella sp* didapatkan dari proses kultivasi di Laboratorium Kimia Organik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Proses fitoremediasi terhadap logam Cu dilakukan untuk mengetahui kapasitas penyerapan *Chlorella sp*
3. Variasi konsentrasi logam Cu yang digunakan yaitu 0,6; 0,8 dan 1,0 mg/L dari CuSO₄ anhidrat (Musa, dkk., 2013).
4. Analisis Cu dilakukan pada air dan mikroalga
5. Analisis kadar Cu menggunakan instrument SSA dengan metode adisi standart.
6. Parameter yang digunakan dalam analisis agen fitoremediasi yaitu BCF

1.5 Manfaat

1. Mengetahui potensi *Chlorella sp* sebagai agen fitoremediasi pada perairan tercemar.
2. Bahan studi lanjut untuk objek penelitian fitoremediasi menggunakan mikro alga spesies *Chlorella Sp*.

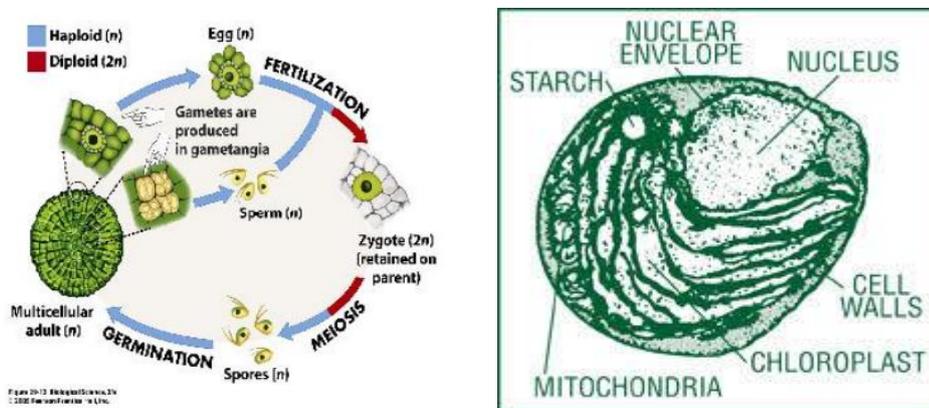
BAB II

TINJAUN PUSTAKA

2.1 Ganggang Hijau (*Chlorella sp*)

2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi

Mikroalga adalah jenis tumbuhan yang berukuran sangat kecil dan termasuk dalam kelas alga, biasanya disebut fitoplankton dengan ciri khas diameter berukuran 3 - 30 μm , hidup di air tawar atau air laut (Romimohtarto, 2004). Nama *Chlorella* berasal dari zat hijau daun (*Chlorophyll*) yang juga berfungsi sebagai katalisator dalam proses fotosintesis (Stenblock, 2000) sedangkan menurut Bold dan Wayne (1985) menyatakan bahwa *Chlorella sp* dikategorikan ke dalam kelompok alga hijau yang memiliki jumlah genera (jamak genus) sekitar 450 dan jumlah spesies lebih dari 7500.



Gambar 2.1 Daur Hidup dan Bentuk Sel *Chlorella sp*

Kumar dan Singh (1976) menyatakan bahwa *Chlorella sp* termasuk ganggang hijau dalam divisi *Chlorophyta*. Klasifikasi sebagai berikut:

Division : Chlorophyta
Kelas : Chlorophyceae

Ordo	: Chlorococcales
Sub-Ordo	: Autosporinaceae
Familia	: Chlorellaceae
Genus	: <i>Chlorella</i>
Spesies	: <i>Chlorella sp.</i>

Chlorella dapat hidup diberbagai jenis air seperti air payau, air laut maupun air tawar, oleh sebab itu *chlorella sp* termasuk dalam jenis alga yang komposit. *Chlorella sp* merupakan jenis alga uniseluler berwarna hijau dan berukuran makroskopis dengan diameter sel 3-8 mikrometer, berbentuk bulat seperti bola atau bulat telur, selain itu *Chlorella sp* tidak dapat bergerak aktif karena tidak memiliki flagella. Dinding selnya terdiri dari selulosa dan pektin, masing-masing sel terdapat satu buah inti sel dan satu kloroplas (Kumar dan Singh, 1976).

2.1.2 Reproduksi

Proses reproduksi yang terjadi pada *Chlorella sp* yaitu secara aseksual dengan memebentuk autospora yang merupakan bentuk terkecil dari sel induk. Pada masing-masing sel induk (*Parent Cell*) akan membelah menjadi 4, 8 atau 16 autospora yang akan menjadi sel anakan (*Daughter Cell*) dan melepaskan diri dari induknya (Bold dan Wynne, 1985).

Proses reproduksi *Chlorella* dapat dibagi menjadi 4 tahapan (Kumar dan Singh, 1979) yaitu:

- a. Tahap pertumbuhan yaitu tahapan dimana sel-sel pada *Chlorella sp* tumbuh membesar.
- b. Tahap pemasakan awal yaitu terjadi peningkatan aktivitas dari persiapan pembentukan autospora.

- c. Tahap pemasakan akhir yaitu autospora sudah terbentuk.
- d. Tahap pelepasan autospora yaitu dinding-dinding pada sel induk akan pecah yang diikuti oleh pelepasan autospora yang merupakan bakal dari sel induk murah.

2.2 Kultur *Chlorella sp.*

2.2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Perkembang Biakan *Chlorella Sp.*

Media kultur merupakan tempat hidup bagi *Chlorella sp.*, perkembangan *Chlorella sp.* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu : nutrien atau unsur hara, media, suhu, cahaya serta salinitas. Pemilihan media hidup bagi kultur *Chlorella sp.* ditentukan dari jenis *Chlorella* yang akan dibudidayakan (Bold dan Wynne, 1985).

Salah satu media alami untuk pertumbuhan mikroalga yaitu Media Ekstrak Tauge (MET). Tauge kacang hijau merupakan sayuran dengan banyak manfaat salah satunya baik untuk kesehatan dan kesuburan sistem reproduksi, selain itu kecambah kacang hijau mudah diperoleh dengan harga yang ekonomis dan juga tidak menghasilkan senyawa yang berefek toksik (Richmon, 2006).

Media perlakuan MET mengandung nutrien organik seperti karbohidrat, protein, vitamin dan lemak yang dibutuhkan sebagai sumber energi bagi pertumbuhan mikroalga. Selain itu, media perlakuan MET juga mengandung mikronutrient anorganik seperti K, P, Ca, Mg dan Na yang dibutuhkan oleh sel mikroalga sebagai komponen penyusun sel, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber hara dalam pertumbuhan berbagai jenis alga (Richmon, 2006 dan Krismawati dan Ahdia., 2013).

Sedangkan mikronutrien seperti Fe, Zn, Mn dan Cu yang dibutuhkan oleh sel sebagai kofaktor enzim dan sebagai komponen pembentuk klorofil (Richmon, 2006). Selain itu senyawa-senyawa dalam kultur juga akan mengaktifkan fotosintesis pada mikroalga. Fotosintesis yang berlangsung efektif akan mempengaruhi produk yang dihasilkan (Wulandari, dkk., 2010).

2.2.2 Fase Perkembang Biakan *Chlorella Sp.*

Fitoplankton dapat mengalami beberapa fase pertumbuhan (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995) yaitu:

a. Fase Lag (Fase Istirahat)

Fase lag atau fase istirahat dimulai setelah penambahan inokulum di dalam media kultur hingga beberapa saat setelahnya. Peningkatan sel paling signifikan dapat dilihat pada ukuran sel karena secara fisiologis fitoplankton sangat aktif, selain itu proses sintesis protein baru terjadi sehingga kepadatan sel belum meningkat disebabkan oleh fitoplankton masih beradaptasi dengan lingkungan.

b. Fase Eksponensial

Fase eksponensial ditandai dengan laju pertumbuhan yang meningkat secara intensif. *Chlorella sp* dapat mencapai fase ini dalam waktu 5-7 hari.

c. Fase Penurunan Laju Pertumbuhan

Laju pertumbuhan mengalami penurunan dibandingkan pada fase sebelumnya, namun pertumbuhan sel tetap terjadi

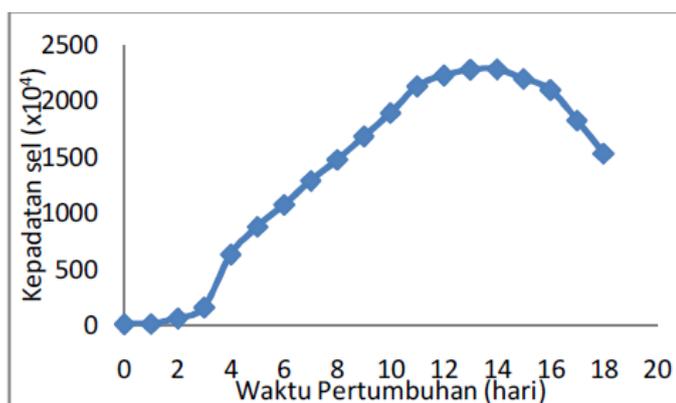
d. Fase Stasioner

Kepadatan pada fase ini tetap karena antara laju reproduksi dan laju kematian relatif sama yaitu jumlah penambahan dan jumlah kematian sama (stasioner).

e. Fase Kematian

Jumlah sel mengalami penurunan secara geometrik yaitu antara laju kematian dan jumlah penambahan lebih besar jumlah kematian. Penurunan pada fase ini ditandai karena penurunan kondisi optimum yang dipengaruhi oleh suhu, cahaya, pH media dan ketersediaan hara yang saling berkaitan.

Secara skematis pola perkembangan fitoplankton *Chlorella sp* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Grafik pola perkembangan *Chlorella sp* (Musa, Raya & Dali, 2013).

2.3 Pencemaran kualitas air

Limbah yang di buang ke perairan dengan kualitas yang kurang diperhatikan dapat mempengaruhi kehidupan manusia dan organisme yang berada di dalamnya. Beberapa parameter kualitas air yaitu parameter kimia, parameter fisika dan parameter biologi keadaannya akan semakin memprihatinkan secara kronis. Menurunnya kualitas air ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya industri,

rumah tangga, kesehatan serta pertanian dan perikanan, baik itu limbah dalam bentuk cair maupun padatan (Sasongko, dkk., 2014).

Faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan kualitas air ini adalah disebabkan adanya bahan organik maupun anorganik yang terakumulasi terlalu tinggi di perairan. Limbah yang dapat diuraikan dan bersumber dari makhluk hidup merupakan limbah organik, seperti contoh feses dan sisa makanan dimana keduanya dapat diuraikan di dalam tanah maupun di perairan. Sedangkan limbah anorganik adalah limbah yang bersumber dari benda atau zat yang tidak hidup serta tidak dapat diuraikan seperti plastik dan logam (Sutardjo, dkk., 2016).

2.4 Logam berat tembaga (Cu)

Logam berat merupakan logam yang mempunyai massa jenis $> 5 \text{ gr/cm}^3$. Logam berat bersifat beracun, terakumulasi dalam tubuh organisme dan sulit mengalami degradasi (Mulyanto, 1993). Istilah logam berat telah dipergunakan secara luas, salah satunya dalam perpustakaan ilmiah logam berat digunakan sebagai istilah yang menggambarkan bentuk logam tertentu. Karakteristik dari kelompok logam berat yaitu (Palar, 1994) :

1. Spesifikasi gravity yang dimiliki sangat besar yaitu lebih dari 4
2. Termasuk dalam unsur-unsur lantanida dan aktinida, serta unsur kimia dengan nomor atom 22 - 34 dan 40 - 50.
3. Mempunyai respon biokimia yang khas pada organisme hidup.

Tembaga merupakan unsur dengan simbol Cu, dengan nomor atom 29; Ar 63,546; titik leleh $1083,4 \text{ }^\circ\text{C}$; titik didih $2567 \text{ }^\circ\text{C}$; densitas yang dimiliki yaitu 8,96. Tembaga (Cu) memiliki dua bilangan oksidasi yaitu +1 dan +2. Tembaga (Cu)

tergolong dalam logam transisi, berwarna kemerah-merahan mengkilap namun akan berubah menjadi buram ketika dalam udara lembab, dapat ditempa dan ditarik, merupakan penghantar listrik yang baik dan tidak bereaksi dengan asam non oksidator (Mulyono, 2012).

Tembaga (Cu) termasuk dalam golongan logam berat esensial dan tergolong dalam logam Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) serta memiliki elemen penyusun mikro yang sangat bermanfaat bagi organisme. Kadar Cu yang melebihi ambang batas organisme akan menyebabkan lisis pada sel (Ashish, dkk., 2013 dan Sanjaya dan Bandhesa, 2019). Penggunaan tembaga dalam jumlah yang telah melebihi ambang batas akan mengakibatkan toksisitas sub klinik pada sel darah merah dan sistem saraf, sedangkan efek kronis akan dirasakan ketika penggunaan secara non-letal secara berulang sehingga mengakumulasi logam berat dalam tubuh (Gunawan et al., 2013; Mason et al., 2014; Wani et al., 2015).

Lingkungan dengan kadar Cu yang terlalu tinggi akan menyebabkan toksisitas pada organisme tertentu, karena secara tidak langsung peran Cu adalah sebagai inhibitor (Shah, 2017). SKGUB Jawa Timur no. 45 tahun 2002 menetapkan untuk baku mutu logam tembaga pada limbah industri elektoplating adalah 0,6 mg/L sedangkan baku mutu untuk industri cat dan tinta yaitu 0,8 mg/L. Keputusan Menteri lingkungan hidup no. 51 tahun 2004 menyatakan bahwa baku mutu Cu untuk biota laut adalah 0,008 ppm karena pada konsentrasi ini logam Cu masih bisa ditoleransi oleh sebagian besar organismesme air.

Logam dapat masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melewati beberapa jalan, yaitu melalui saluran pencernaan, pernafasan dan penetrasi melalui kulit. Penyerapan logam melalui saluran pernafasan berpotensi sangat

besar, baik makhluk hidup yang hidup di air yang dapat menyerap logam melalui insang dan makhluk hidup darat yang dapat menyerap logam melalui debu di udara ke saluran pernafasan (Darmono, 2001).

Logam yang tidak esensial bereaksi pada tingkat yang berbeda-beda dan cenderung terakumulasi dalam tubuh, oleh sebab itu perolehan logam dalam konsentrasi yang sangat rendah tetapi didapatkan secara terus-menerus akan menyebabkan pengaruh penurunan kesehatan yang dapat mengakibatkan penyakit kronis (Cakrawala, 2005).

2.5 Metode pengolahan limbah

2.5.1 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan pemanfaatan tanaman untuk dekontaminasi limbah dan masalah-masalah pencemaran lingkungan, baik secara *ex-situ* (menggunakan kolam buatan atau rektor) maupun *in-situ* (langsung di lokasi tercemar) (Subroto, 1996). Fitoremediasi menurut Wang, dkk (2011) adalah suatu bidang penelitian yang bergerak pada studi lingkungan dengan proses yang ramah lingkungan, biaya murah dan kemungkinan panen tanaman untuk ekstraksi kontaminan diserap seperti logam yang tidak dapat dengan mudah terdegradasi untuk didaur ulang.

Tanaman yang dapat digunakan untuk fitoremediasi memiliki biomassa serta pertumbuhan yang cepat (Putra, dkk., 2015). Selain itu keuntungan dari fitoremediasi yaitu penyerapan logam polutan menggunakan proses yang sama dengan penyerapan nutrisi yaitu melalui dinding sel sampai pada metabolisme (Hamzah & priyadarsini, 2019)

Konsep dasar dari mekanisme kerja fitoremediasi yaitu (Nur, 2013) :

a. Fitoekstraksi

Proses penyerapan polutan oleh tanaman yang berasal dari tanah atau air setelah itu disimpan di dalam daun atau batang tanaman. Tanaman yang dapat melakukan proses fitoekstraksi merupakan tanaman jenis hiperakumulator, dimana hasil panen tanaman dengan polutan yang terakumulasi tidak boleh dimakan dan harus dimusnahkan dengan insinertor kemudian di landfiling.

b. Fitovolatilisasi

Yaitu penyerapan polutan oleh tanaman setelah itu polutan dikonversi menjadi senyawa yang bersifat *volatil* kemudian diupakan oleh tanaman. Bentuk polutan yang dilepaskan ke udara ini bisa sama dengan bentuk senyawa awal atau bisa juga dalam bentuk senyawa lain.

c. Fitodegradasi

Tanaman menyerap polutan kemudian polutan mengalami reaksi-reaksi kimia didalam tanaman. Proses reaksi-reaksi kimia yang terjadi didalam tanaman melibatkan enzim *Nitrodictase*, *Laccase*, *Dehologenase* dan *Nitrilase*.

d. Fitostabilisasi

Proses perubahan yang oleh tanaman yaitu untuk mengubah polutan yang terdapat dalam tanah menjadi senyawa non toksik sebelum senyawa itu diserap oleh tanaman. Hasil perubahan tersebut tetap berada di dalam tanah.

e. Rhizofiltrasi

Penyerapan polutan oleh tanaman dimana media tercemar yang digunakan adalah badan perairan.

2.5.2 Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi adalah proses kimia fisika dari pencampuran bahan kimia sebagai koagulan ke dalam limbah yang selanjutnya dilakukan pengadukan atau flokulasi dengan tujuan untuk membentuk koloid dan padatan yang telah tersuspensi halus dalam keadaan tidak stabil sehingga terjadi tumbukan antar partikel dan terbentuk flok (Rahimah, dkk., 2016). Hasil dari proses koagulasi ini akan terbentuk partikel yang lebih besar yang bermuatan positif dan negatif (Simbolon Ali, 2020).

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah: pH, tingkat kekeruhan, temperatur, alkalinitas konsentrasi padatan tersuspensi, waktu dan kecepatan pengadukan, kadar ion terlarut yaitu komposisi dan konsentrasi kation anion, serta jenis koagulan dan flokulan yang digunakan meliputi flokulan anion dan flokulan kation. Adapun jenis-jenis koagulan yang dapat digunakan yaitu: kapur, PAC, alumunium sulfat, ferro sulfat, dan ferri klorida (Rahimah, dkk., 2016 dan Simbolon, 2020).

Proses koagulasi dapat dilakukan dengan mudah dan sederhana yaitu dengan menambahkan koagulan yang berlebih pada daerah treatmen sehingga membentuk ion kompleks yang akan terpolarisasi dalam keadaan yang jenuh dan mengendap menjadi logam hidroksida, seperti $\text{Al}(\text{OH})_3$ atau $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Reynolds, dkk., 1996). Namun dibalik prosesnya yang mudah proses koagulasi-Flokulasi terdapat kekurangan yaitu kebutuhan dosis koagulan dan flokulan yang tinggi dan terus menerus sehingga membutuhkan biaya yang besar selain itu hasil dari proses koagulasi dan flokulasi ini menghasilkan limbah padatan yang berasal dari flok sehingga butuh dilakukan penanganan lanjut (Simbolon, 2020).

2.5.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses pemisahan limbah atau pengotor dengan cara pengikatan partikel pengotor pada permukaan rongga adsorben yang mengandung gugus aktif (Reynolds, 1996). Faktor-faktor yang memengaruhi daya adsorpsi adalah: pH, temperatur, konsentrasi dan luas permukaan adsorben (Cechinel, dkk., 2013).

Adsorben yang paling efektif dalam proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Hal ini disebabkan karena karbon aktif memiliki luas permukaan serta daya adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan adsorben lainnya (Walas, 1990). Kelebihan dari penggunaan adsorpsi dengan karbon aktif yaitu pengoperasiannya mudah, proses berjalan cepat karena tidak terbentuk endapan dan karbon aktif tidak bercampur dengan lumpur sehingga dapat dilakukan regenerasi. Namun dari beberapa kelebihan, penggunaan karbon aktif juga memiliki kelemahan diantaranya luas permukaan dalam satuan berat lebih kecil karena ukuran dari karbon yang besar dan beberapa jenis arang akan mengambang karena massa jenisnya lebih kecil daripada air (Nurhidayati, 2009).

2.6 *Chlorella* sebagai agen fitoremediasi

Penyerapan logam berat atau polutan dapat dilakukan menggunakan tanaman yang memiliki sifat fitoremediasi. Indikator dari tumbuhan fitoremediasi adalah mampu tumbuh atau toleran pada lingkungan dengan tingkat polutan yang tinggi (Peer, et al, 2015)

Menurut Arifin (2012) menyatakan bahwa tumbuhan fotosintetik yang dikembangkan selain bakteri adalah mikroalga yang berfungsi untuk mengurangi

dan mengelola limbah cair. Salah satunya yaitu mikroalga jenis *Chlorella sp*, keuntungan dari alga ini adalah dapat berkembang biak dalam waktu yang cepat, mudah dibudidayakan, tidak membutuhkan daerah tumbuh yang luas, dapat melakukan proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan mengandung protein yang tinggi dengan komponen utamanya adalah asam amino (Simatupang, dkk., 2017 dan Purnawati, dkk., 2015). Perkembangan kepadatan sel *Chlorella* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan spektrofotometer yang lebih akurat. Selain metode yang digunakan lebih simpel karena preparasi yang dibutuhkan tidak kompleks, juga dilakukan kalibrasi dan standarisasi sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat dengan panjang gelombang 650 nm (Zamani & Muhaemin, 2016).

Menurut Wetipo, dkk (2013) mengatakan bahwa *Chlorella* mampu hidup dalam lingkungan yang tercemar, karena *Chlorella* memiliki *Phytohormon* dan *Polyamine* sehingga dapat beradaptasi pada lingkungan yang tercemar dengan logam berat. Selain itu *Chlorella* juga dapat menyerap logam berat (Cu, Cd, Cr dan Zn). Umumnya untuk mempertahankan hidupnya, mikroalga juga memiliki mekanisme perlindungan terhadap logam beracun (Kurniawan dan Aunurohim, 2014). Mikroalga berifat basa, sehingga dapat menaikkan pH limbah (Simatupang, restuhadi, dan Dahril., 2017).

Hasil dari penelitian Djide (2011) menunjukkan bahwa *Chlorella* mengalami penurunan pada hari pertama dan selanjutnya populasi naik sampai hari ke 4 dengan perlakuan penambahan Hg 4 ppm. Kenaikan ini terjadi disebabkan *Chlorella* sudah resistensi terhadap logam berat merkuri (Hg), hal ini dapat dibuktikan dengan bertambahnya populasi hari pertama diatas 50%.

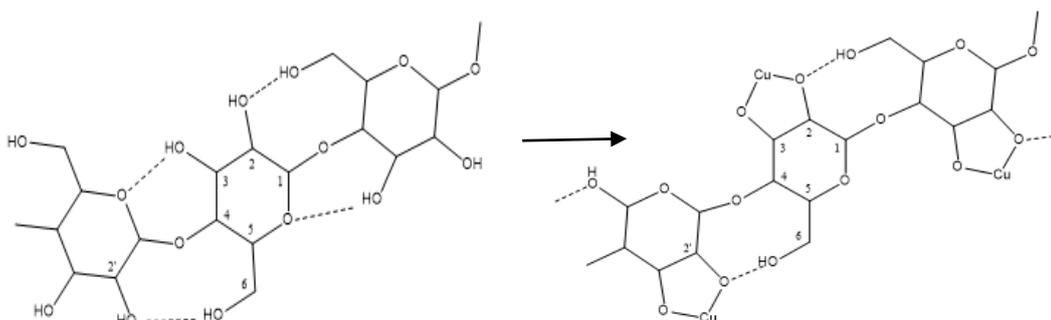
Table 2.1 Penelitian terdahulu penyerapan logam menggunakan mikroalga *Chlorella sp.*

Nama	Tahun	Tema	Variasi	Hasil terbaik
Dewi dan Gultom	2009	Logam Cu dari limbah elektroplating 1:16	Waktu (2, 4 & 6 hari) Massa sampel (100, 150, 200, 250 & 300 g/L)	Waktu pemaparan 6 hari dengan massa 300 g/L yaitu dengan penyerapan 38,62%.
Djide, M.N., Ibrahim, R & Mangindra, A.	2011	Limbah yang mengandung logam Hg	Konsentrasi (0, 4, 5 & 6 ppm) Waktu 4 hari	Konsentrasi Hg 6 ppm dengan maksimal penyerapan 99,90083%.
Arifah siti	2014	Limbah yang mengandung logam Hg ²⁺	Konsentrasi (0,06 dan 0 ppm) Waktu 7 hari	Konsentrasi 0,06 ppm dengan prosentase penyerapan 97%.
Widiyanti & dewi	2014	Kandungan logam Cd pada media kultur	Konsentrasi (1, 3 & 5 mg/L) Waktu 7 hari	Konsentrasi 5 mg/L yaitu sebesar 0,449 mg/L.
Kurniawatiningrum	2019	Limbah yang mengandung logam Pb	Konsentrasi (0, 20 & 100 ppm)	Konsentrasi 100 ppm dengan prosentase penyerapan 41,45%.

2.7 *Chlorella sp* Bersifat Akumulator

Proses penyerapan logam berat oleh *Chlorella sp* merupakan gabungan proses aktif yang melibatkan metabolisme dan proses pasif tidak melibatkan metabolisme. Sel fitoplankton *Chlorella sp* melalui proses aktif dapat mensintesis protein pengkhelat logam fitokhelatin untuk merespon pengaruh negatif dari logam berat (How dkk, 1992 dalam Djide, 2011).

Proses penyerapan *Chlorella sp* sebagai akumulator ada 2 jenis pertama *Passive Uptake* yaitu logam berat mengikat pada dinding sel dengan cara pertukaran ion dan urutan kompleks antara ion-ion logam berat dengan *function groups* (Adi dan Dyah, 2010). Pada umumnya interaksi antara logam dengan gugus fungsional melalui interaksi pertukaran ion atau pembentukan kompleks disebut dengan proses adsorpsi (Ahalya, dkk. 2003). Adsorpsi terjadi karena adanya pemakaian bersama elektron oleh adsorben yang merupakan ikatan kovalen. Adsorpsi kimia memiliki sifat irreversibel, sehingga untuk memisahkan adsorbat harus digunakan suhu yang tinggi (Krisitiyani, 2008). Komponene dinding sel dalam sitoplasma yang dapat melakukan pengikatan ion misalnya gugus karboksil, hidroksil, sulfat dan sulfonat, fosfat, amina, dan sulfidril. (Crist, dkk., 1981 dan Budi, dkk., 2018). Berikut merupakan mekanisme pengikatana logam oleh selulosa yang ada pada dinding sel.



Gambar 2.3 mekanisme pengikatan logam oleh selulosa

Gambar 2.3 menunjukkan bagian dari selulosa sebelum dan setelah mengikat logam yang terdeprotonasi pada posisi O₂ dan O₃ pada unit anhidro glukosa. Efek dari proses deprotonasi ini mengakibatkan ikatan hidrogen antara OH primer pada posisi C₆ akan terputus dengan O yang terikat pada cincin unit anhidro glukosa yang lain sehingga kekuatan ikatan hidrogen lainnya akan meningkat. Ikatan ini

terjadi di kedua sisi rantai dan menyebabkan kekuatan rantai meningkat (Salwa dan Burchard, 2000). Selain itu dalam penelitiannya Widiyatno, dkk (2017) menjelaskan bahwa adsorpsi juga dipengaruhi oleh luas permukaan dari adsorben, dimana semakin luas permukaan maka akan semakin besar daya adsorpsi.

Kedua adalah *Active Uptake* yaitu ketika logam yang berada lingkungan mereka dapat dimanfaatkan dalam pertumbuhan mikroorganisme dan akumulasi intraseluler ion logam (Adi dan Dyah., 2010 dan Dewi, 2020). Proses penyerapan pertama kali terjadi pada dinding sel, karena di dalam dinding sel terdapat enzim ekstraseluler yang berfungsi sebagai penyerap unsur-unsur yang dibutuhkan oleh sel. Reaksi yang terjadi pertama kali adalah pertukaran ion logam Pb disekitar sel dengan ion monovalen maupun bivalen (misalnya: Na). Proses penyerapan yang terakhir adalah pembentukan senyawa kompleks ion Pb dengan gugus fungsional yang berada dalam sel seperti gugus karbonil (-CO), gugus hidrosil (-HCO), sulfidril (-SH), karboksil (-COOH), ion sulfat SO_4^{2-} , dan ion fosfat (PO_4^{3-}) (Adi dan Dyah., 2010).

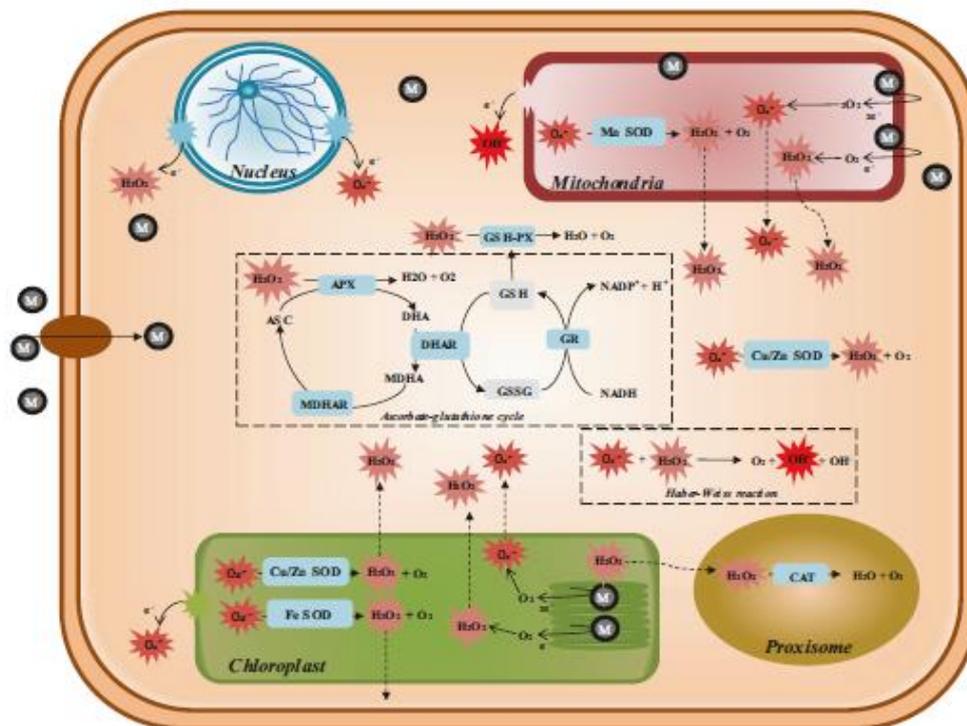
Proses *active uptake* terjadi secara lambat, yaitu proses penyerapan secara adsorpsi, detoksifikasi dan akumulasi terjadi didalam sel *Chlorella sp* yang masih hidup (Wide dan Beneman, 1993). Proses transportasi logam berat terjadi melalui membran sel yang mengalami proses difusi terfasilitasi oleh bantuan *enzim Permease* menuju ke sitoplasma (Tng, et al., 1989 dan Kimball, 1998). Setelah itu, ion logam berat akan melewati membran sel, enzim-enzim dan organel sel yang ada berada didalam sitoplasma yang merupakan tujuan akhir dari proses akumulasi (Ernst, 1998). Sel simultan yang searah dengan pemanfaatan ion logam sebagai nutrisi pertumbuhan atau akumulasi intraseluler ion logam. Kemudian

logam berat akan diendapkan pada proses metabolisme (Adi dan diyah, 2010). Ion logam akan bergerak searah dengan gradien konsentrasi dan membran sel memompa ion logam berat bergerak berlawanan dengan gradien konsentrasi pada proses yang sedang berlangsung, proses ini disebut sebagai transport aktif yang mengubah energi menjadi ATP dari hasil metabolisme sel (Damell, et al., 1986).

2.8 Senyawa Fitokhelatin

Mekanisme morfologi dan fisiologi setiap tumbuhan berbeda-beda yang digunakan oleh tumbuhan untuk bertahan hidup dalam berbagai macam kondisi lingkungan. Tanaman yang hidup di daerah yang tercemar oleh logam tidak dapat mencegah penyerapan melainkan dapat membatasi dengan mengakumulasi pada jaringan dengan konsentrasi tertentu (Peterson, 1971). Beberapa spesies telah berkembang dan beradaptasi untuk menangani logam berat yang disebut sebagai tanaman toleran (Gratao, et. al, 2019). Toleransi tumbuhan dalam lingkungannya dilakukan berbeda-beda dengan kapasitas penyerapan yang berbeda-beda berdasarkan spesies yang tumbuhan dan jenis logam yang diserap (Baker, 1981).

Kontaminasi logam berat secara langsung menyebabkan stres oksidatif yang kuat karena ketidakseimbangan yang terjadi antar sistem pada tumbuhan yang menyebabkan gangguan membran serta denaturasi protein dan asam nukleat yang berdampak negatif pada proses fotosintesis dan fiksasi karbon. Mekanisme pertahanan seluler tanaman terhadap respon antioksidan enzimatis dan non-enzimatis yaitu memecah molekul oksigen reaktif (ROS) untuk membentuk sel biasa. Berikut reaksi ROS mampu mengoksidasi sehingga mampu mengubah protein dan lipid dari membran diberbagai organel yang ditunjukkan pada gambar

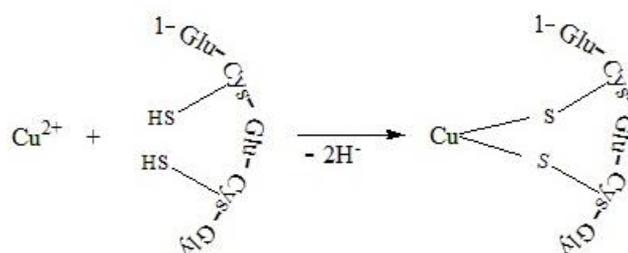


Gambar 2.4 Tekanan oksidatif yang diinduksi oleh logam berat

Respon antioksidan enzimatik superoksida dismutase (SOD) yaitu mengkatalis pelepasan $O_2^{\bullet-}$ membentuk O_2 dan H_2O_2 yang merupakan proses penting untuk menghindari kombinasi $O_2^{\bullet-}$ dan H_2O_2 dalam reaksi yang disebut Haber-Waless. H_2O_2 pada umumnya memiliki konsentrasi yang tinggi di dalam sel karena efek langsung dari aktifitas SOD yang dapat menyebabkan kerusakan oksidatif yang ditemukan pada kloroplas, matriks mitokondria, dan sitoplasma sel sehingga H_2O_2 perlu dirubah menjadi H_2O dan O_2 oleh enzim katalase. Selain itu terdapat peroksidase hemoprotein yang berperan dalam proses degradasi bersama dengan substrat, peroksida askorbat dan glutation peroksida. Peroksida berperan dalam regulasi pertumbuhan sel, lignifikasi, oksidasi fenolik, pertahanan terhadap patogen. Molekul yang penting dalam proses ini adalah fitokhelatin.

Fitokhelatin terbentuk dari reduksi glutation dan merupakan molekul penting dalam melawan logam berat yang akan terikat pada gugus thiol yang

berbeda pada asam amino sistein. Reaksi logam dengan gugus thiol terutama glutathion (GSH) mengurangi kelimpahan logam di lingkungan seluler, yang dapat menyebabkan stres oksidatif (Cuypers, et al, 2010). Glutathion (γ - glutamil sistein glisin) adalah tripeptida yang dibentuk oleh asam amino glutamat, sistein dan glisin. Fitokhelatin memiliki bentuk umum (γ - Glu-Cys) $_n$ -gly, dimana n berkorespondensi dengan 2-11 (Anjum, et al, 2015). Kelompok fitokhelatin mengikat logam berat dan menetralkan keadaan tereduksi untuk menghindari oksidasi molekul lain, kemudian kelompok logam-fitokhelatin akan disimpan dalam vakuola melalui jenis pengangkutan pengikat ATP (Hernandez, et al. 2015). Berikut merupakan struktur fitokhelatin.



Gambar 2.5 Struktur Fitokhelatin

Penyerapan diawali dengan pengikatan ion logam berat pada gugus sulfur (S) dari asam amino sistein pada dinding sel. Selain protein reseptor mengenali adanya logam asing (non esensial) gen akan mengkode pembentukan *Metallothioenin* (MT). protein MT merupakan protein pengikat logam yang mengandung 30% asam amino. Kandungan sistein yang tinggi mengakibatkan protein tersebut memiliki daya afinitas yang kuat terhadap logam. Logam yang berikatan dengan MT didalam sel dengan mekanisme transport pasif. Logam berat akan berikatan dengan 2 atom S pada sistein kemudian struktur MT akan membentuk seperti jepit rambut dengan logam berat akan terdetoksifikasi dalam strukturnya. MT yang berikatan dengan logam berat di transportasikan ke vakuola

yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan ion-ion dan metabolit. Di dalam sel akan membentuk MT secara terus menerus selama ion logam berat masih ada dalam larutan yang terikat pada gugus S dari protein dinding sel sampai pada saat tertentu sel akan mengalami kejenuhan dan berada pada fase kematian (Adi dan Dyah, 2010).

2.9 Parameter Fitoremediasi

Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan fitoremediasi yaitu kemampuan daya akumulasi berbagai jenis tanaman untuk berbagai jenis polutan dan konsentrasi, sifat kimia dan fisika, serta sifat fisiologi tumbuhan, jumlah zat kimia berbahaya, mekanisme akumulasi dan hiperakumulasi ditinjau secara fisiologis, biokimia dan molekular serta konsentrasi limbah yang digunakan (Kurniawan, 2008).

1. Formulasi dalam analisis data Biokonsentrasi Faktor (BCF)

Biokenstrasi Faktor berfungsi untuk penentuan kecenderungan suatu bahan kimia yang diserap oleh organisme akuatik. BCF merupakan rasio dari konsentrasi bahan kimia dalam organisme akuatik dengan konsentrasi bahan kimia dalam air (Hidayah, dkk., 2014).

$$BCF = C_{org} / C \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

C_{org} = Konsentrasi logam berat dalam organisme (mg/kg atau ppm)

C = Konsentrasi logam berat dalam air (ppm).

Semakin tinggi nilai BCF pada suatu organisme maka semakin tinggi organisme tersebut mengakumulasi logam. Katagori nilai BCF >1 tergolong

dalam tanaman akumulator yang baik dan dianggap sebagai fitoekstraktor sehingga sesuai untuk fitoekstraksi, sedangkan untuk $BCF < 1$ tidak memenuhi jika digunakan sebagai fitoekstraksi atau fitostabilisasi (Fitz and Wanzel, 2002).

2.10 Destruksi Sampel

Kandungan mineral dalam sampel dapat dilakukan dengan menggunakan metode destruksi (pengabuhan). Destruksi merupakan metode yang bertujuan untuk menguraikan logam organik menjadi logam anorganik bebas. Pada dasarnya ada dua jenis destruksi yaitu destruksi kering dan destruksi basah.

Destruksi basah adalah proses perombakan logam organik dengan menggunakan asam kuat, baik tunggal maupun campuran, kemudian dioksidasi menggunakan zat oksidator sehingga didapatkan logam anorganik bebas. Destruksi basah sangat cocok digunakan pada senyawa-senyawa yang memiliki sifat *Volatil*. Pelarut-pelarut yang dapat digunakan dalam destruksi basah adalah HNO_3 dan $HClO_4$. Kedua pelarut ini dapat digunakan satu persatu ataupun campuran. Hasil destruksi yang maksimal dapat diketahui dengan didapatkannya larutan yang jernih, karena menunjukkan bahwa semua konstituen telah diuraikan secara sempurna atau dapat dikatakan bahwa perombakan senyawa-senyawa organik telah berjalan dengan baik. Senyawa-senyawa garam yang terbentuk dari hasil destruksi merupakan senyawa yang stabil sehingga dapat disimpan selama beberapa hari (Raimon, 1993).

Metode destruksi basah lebih baik dibandingkan menggunakan destruksi kering, dikarenakan pada destruksi basah tidak banyak bahan yang hilang dari

suhu tinggi saat proses pengabuan. Selain waktu yang diperlukan juga lebih cepat dibandingkan destruksi kering (Sumardi, 1981).

Sifat dan karakteristik asam pendestruksi yang sering digunakan antara lain (Sumardi, 1981) :

a. Asam sulfat pekat (H_2SO_4)

Fungsi penambahan asam sulfat pekat adalah untuk mempercepat terjadinya proses oksidasi, karena sifat dari asam sulfat pekat adalah sebagai bahan pengoksidasi yang kuat, namun waktu yang dibutuhkan untuk proses destruksi tergolong cukup lama.

b. Campuran asam sulfat pekat dengan kalium sulfat pekat

Fungsi penambahan campuran ini adalah untuk mempercepat proses dekomposisi sampel. Kalium sulfat pekat berfungsi untuk menaikkan titik didih asam sulfat pekat sehingga suhu pada proses destruksi semakin tinggi dan proses yang berlangsung lebih cepat.

c. Campuran asam sulfat pekat dengan asam nitrat pekat

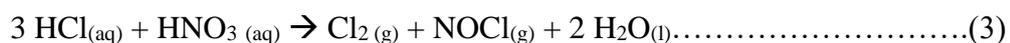
Fungsi dari campuran kedua larutan ini adalah untuk mempercepat proses destruksi, karena sifat dari keduanya yaitu sebagai oksidator yang kuat. Penambahan larutan ini menyebabkan penurunan suhu destruksi sampel yaitu pada suhu $350\text{ }^{\circ}C$, dengan demikian komponen yang terkandung dalam sampel, yang dapat menguap atau terdekomposisi dalam suhu tinggi dapat dipertahankan dalam abu, sehingga kadar abu yang didapatkan lebih maksimal.

d. Asam perklorat pekat

Dimanfaatkan untuk proses destruksi pada bahan yang sulit mengalami oksidasi, karena perklorat merupakan oksidator yang sangat kuat. Namun kelemahan dari larutan perklorat ini adalah sifatnya yang mudah meledak (*explosive*) sehingga dalam penggunaannya harus berhati-hati karena cukup berbahaya.

e. Aqua regia

Yaitu campuran dari asam klorida pekat dengan asam nitrat pekat dengan perbandingan volume 3:1, dimana aqua regia ini mampu melarutkan logam-logam mulia seperti emas dan platina yang tidak dapat larut dalam HCl pekat dan HNO₃ pekat. Reaksi yang terjadi adalah :



Hasil dari reaksi yang berupa gas yaitu gas klor dan gas nitrosil klorida merupakan senyawa yang mengubah logam menjadi logam klorida dan selanjutnya diubah menjadi kompleks anion yang stabil dan bereaksi lebih lanjut dengan Cl⁻.

Pemilihan prosedur harus diperhatikan dalam metode destruksi. Beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu: waktu, biaya dan bahan kimia yang diperlukan dalam analisis serta sensitivitas metode yang digunakan. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam proses destruksi terhadap sampel yaitu (Raimon, 1993) :

- a. Sifat matriks dan konstituen yang terkandung di dalamnya.
- b. Jenis logam target yang akan dianalisis.
- c. Metode yang akan digunakan untuk penentuan kadarnya.

2.10.1 Destruksi dengan *Microwave Digestion*

Metode destruksi menggunakan *microwave digestion* merupakan penyempurnaan dari metode destruksi asam terbuka yaitu dengan menggunakan metode asam tertutup dengan menggunakan gelombang mikro. Proses ini dilakukan dengan penambahan asam kuat pada sampel yang akan meningkatkan suhu dan tekanan pada sampel uji, hal ini menyebabkan peningkatan kecepatan dekomposisi termal pada sampel yang mengakibatkan logam menjadi larut. Setelah itu dilakukan pengukuran dengan instrumen (Matusiewicz, 2003).

Metode destruksi menggunakan *microwave digestion* merupakan penyiapan sampel dari metode analisa sebelum menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atom. Penambahan larutan asam pada sampel saat proses destruksi dilakukan selama 5 – 40 menit dilakukan menggunakan bejana yang kedap sehingga proses destruksi sampel lebih singkat dan dalam satu kali analisis bisa untuk beberapa sampel (Anderson, 1999).

Dewi (2013) telah melakukan analisa kadar logam menggunakan destruksi basah tertutup dengan *microwave digestion*, yaitu dengan menimbang 0,4 gram sampel dalam vassel yang ditambahkan dengan 10 mL HNO₃ pekat, kemudian vassel ditutup dan diletakkan dalam rak dimasukkan dalam *microwave digestion* dengan setting suhu 200 °C selama 15 menit. Selanjutnya hasil destruksi diencerkan dalam 500 mL labu ukur dan ditanda bataskan dengan HNO₃ 0,5 M.

2.10.2 Destruksi Basah Tertutup dengan Refluks.

Destruksi tertutup menggunakan metode yang umum dilakukan dengan prinsip penguapan pelarut *volatil* pada suhu tinggi namun dengan adanya kondensor sebagai pendingin pada rangkaian alat yang berfungsi untuk

meminimalisir analit yang hilang akibat penguapan, dimana uap pelarut akan diubah dalam bentuk embun sehingga turun dalam wadah reaksi dan pelarut tetap berada dalam posisinya selama proses berlangsung (Darmono, 2001).

Nurmandali, dkk (2003) melakukan penelitian menggunakan metode basah tertutup menggunakan refluks. Proses yang dilakukan yaitu sampel 2 gram dimasukan dalam labu didih yang telah dilengkapi dengan kondensor dan ditambah dengan larutan campuran H_2SO_4 dan HNO_3 sebanyak 20 mL dan 20 mg V_2O_5 , kemudian dihangatkan sampai larutan jernih dalam suhu 40 °C. Analisis dengan refluks didapatkan hasil yang kurang maksimal yaitu terjadi kehilangan logam target secara berarti pada taraf kepercayaan 95%.

2.11 Prinsip analisis kadar Cu dengan AAS

Spektroskopi serapan atom merupakan suatu alat yang digunakan untuk analisis dalam penentuan unsur-unsur logam dan metalloid berdasarkan pada penyerapan absorpsi radiasi oleh atom bebas, atom pada keadaan energi yang lebih rendah (ground state) akan mengalami perpindahan pada energi yang lebih tinggi. Radiasi yang dipancarkan bersifat khas karena mempunyai panjang gelombang yang karakteristik untuk setiap atom bebas (Brink, 1993).

Prinsip analisis menggunakan spektroskopi serapan atom adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. Metode analisis ini berdasarkan pada emisi dan absorbansi dari uap atom (Khopkar, 1990). Cara kerja analisis menggunakan AAS yaitu larutan sampel yang menguap dengan kandungan logam didalamnya diubah menjadi atom bebas. Radiasi yang bersumber dari lampu katoda yang mengandung unsur yang akan dianalisis, diabsorpsi oleh atom bebas.

Hasil pengukuran berupa panjang gelombang yang didapatkan dari banyaknya penyerapan radiasi (Darmono, 1995).

Cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom bebas yang bersangkutan, maka sebagian cahaya tersebut akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada dalam sel. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari (Day dan Underwood, 2002) :

1. Hukum Lambert: bila suatu sumber sinar monokromatis melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorbi.
2. Hukum Beer: intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut.

Hukum Lambert dan Beer ini menghasilkan persamaan sebagai berikut (Day dan Underwood, 2002) :

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \text{ atau } A = a \cdot b \cdot C \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- A = Absorbansi
 ϵ = Absorbtivitas molar (mol/L)
a = Absorptivitas (g/L)
b = Tebal kuvet (nm)
C = Konsentrasi (ppm)

Instrumen AAS terdiri dari beberapa komponen penyusun yaitu sumber sinar, monokromator, wadah sampel dan detektor. Sumber sinar yang dipakai adalah lampu katoda yang berongga, lampu ini terdiri dari tabung kaca tertutup

yang mengandung satu katoda dan anoda. Kenggunlan menggunakan AAS adalah mempunyai selektivitas, kepekaan dan sensitivitas yang tinggi (Asrianai, 2017).

2.12 Metode Uji dengan NOVA

Alternatif lain dalam pengujian rata-rata sampel adalah pengujian varian, yaitu teknik perbandingan simultan dari beberapa variabel yang berfungsi untuk memperkecil kemungkinan kesalahan. Keuntungan dari metode ini yaitu mampu membandingkan ketika dilakukan uji dengan banyak variabel (Walpole, 1995).

Analisis varian (ANOVA) adalah suatu teknik statistik yang digunakan untuk membandingkan kemungkinan rata-rata ketika dua populasi atau lebih dibandingkan dengan rata-rata masing-masing populasi. Selain itu uji ANOVA juga dapat digunakan sebagai uji hipotesis sampel hasil penggantian dari rata-rata berdasarkan metode yang telah dijelaskan secara terperinci, namun analisis ANOVA akan lebih efektif ketika digunakan untuk menguji tiga populasi atau lebih (Herinaldi, 2005).

2.12.1 *One Way* ANOVA

One Way ANOVA merupakan salah satu uji statistik yang digunakan untuk menguji populasi k dari variabel bebas memiliki rata-rata yang berbeda atau sama. Dalam analisis terdapat dua macam variabel yaitu satu variabel bebas dan satu variabel kontrol (tidak bebas). Dalam pengujian terdapat pembagian sampel kategori dan replikasi, yaitu kolom berfungsi sebagai kategori dan baris sebagai replikasi (Supranto, 1983).

Novita, dkk (2017) melakukan analisis organoleptik kemudian pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *one way* ANOVA, dimana perbedaan rata-rata setiap perlakuan ditentukan. Nilai p atau sig kecil dari 0,05 ($p < 0,05$) dianggap mempunyai perbedaan signifikan secara statistik. Hasil analisis dengan *one way* ANOVA menunjukkan perbedaan nyata dari segi warna (nilai sig ($P < 0,05$)) tetapi tidak terjadi perbedaan signifikan dari segi rasa dan aroma (nilai sig ($P > 0,05$)).

2.12.2 *two way* ANOVA

pengujian hipotesis metode dua arah yaitu pengujian menggunakan tiga rata-rata atau lebih dengan dua faktor yang berpengaruh. Pengujian ANOVA dua arah dibagi menjadi dua yaitu dengan interaksi dan tanpa interaksi, dimana katagori ini dilakukan berdasarkan interaksi baris dan kolom. Ditambahkan lagi satu interaksi yang terjadi dua arah (Supranto, 1983).

a. Hipotesis ANOVA kolom

$H_0 : a_1 = a_2 = \dots = a_k$, hasil analisis menunjukkan tidak ada perbedaan nyata antara rata-rata hitungan dari katagori kolom

$H_1 : a_1 \neq a_2 \neq \dots \neq a_k$, hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan nyata antara rata-rata hitungan dari katagori kolom

b. Hipotesis ANOVA baris

$H_0 : b_1 = b_2 = \dots = b_j$, hasil analisis menunjukkan tidak ada perbedaan nyata antara rata-rata hitungan dari katagori baris

$H_1 : b_1 \neq b_2 \neq \dots \neq b_j$, hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan nyata antara rata-rata hitungan dari katagori baris

c. Hipotesis interaksi

$H_0 : (ab)_{11} = (ab)_{12} = \dots = (ab)_{kj}$, tidak ada interaksi antara variabel baris dan kolom

$H_1 : (ab)_{11} \neq (ab)_{12} \neq \dots \neq (ab)_{kj}$, terjadi interaksi antara variabel baris dan kolom.

Cempaka, dkk (2014) melakukan uji statistik *two way* ANOVA yaitu melakukan analisis pada apel segar dengan kadar quercetin yang lebih tinggi dibandingkan dengan jus apel dan *smoothie* apel, dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($p < 0,05$). Hasil analisis yang didapatkan yaitu terdapat perbedaan kadar quercetin yang signifikan pada masing-masing perlakuan dan varietas apel, dibuktikan pada hasil yang menunjukkan angka signifikan sebesar 0,000 lebih kecil dari 0,05 (H_0 ditolak).

2.13 Fitoremediasi *Chlorella sp* dalam perspektif islam

Fitoremediasi merupakan penerepan dari pengembangan bidang ilmu yang bertujuan untuk perbaikan kerusakan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan dari aktifitas manusia terutama dibidang industri. Konsep fitoremediasi menggunakan tanaman *Chlorella sp* diharapkan dapat mengurangi limbah yang berada dilingkungan dengan memanfaatkan mikroalga. Anjuran dalam memelihara lingkungan ini telah dijelaskan Allah dalam firmanNya Al-Qur'an surat al A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۗ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ



Artinya: “ dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memepbaiki dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan harapan.

Sesungguhnya Allah amat dekat kepada orang yang berbuat baik”, (Qs. Al A’raf: 56).

Ayat ini menjelaskan tentang berbuat kerusakan dimuka bumi yang melampaui batas, karena Allah telah menciptakan alam ini sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi kebutuhan makhluk hidup. Oleh sebab itu Allah memerintahkan untuk menjaga dan memperbaikinya (Mustakim, 2017). Sebagaimana keadaan lingkungan pada saat ini yang cukup memprihatinkan, terutama lingkungan perairan. Banyak sekali yang menggunakan perairan seperti sungai dan laut sebagai tujuan dari pembuangan ahir limbah tanpa memikirkan efek yang ditimbulkan dari limbah tersebut. Tidak sedikit biota air yang mengalami kematian karena limbah yang dibuang ke perairan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu.

Hakikat diciptakan alam semesta ini semata hanya untuk patuh dan taat pada Allah SWT. Agar manusia mendapatkan kedudukan yang tinggi maka manusia dituntut bertanggung jawab atas perbuatannya (Ihsan, 2007 dalam Mustakim, 2017). Oleh sebab itu untuk mengurangi kerusakan di air akibat pencemaran limbah, maka dilakukan penelitian tentang pengelolaan limbah menggunakan tumbuhan yang telah diciptakan Allah kepada kita dengan segala manfaat didalamnya.

Akhir ayat yang berbunyi “Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”. Hal ini sesuai dengan firman Allah surat Al-Rahman ayat 60:

هَلْ جَزَاءُ الْإِحْسَانِ إِلَّا الْإِحْسَانُ ﴿٦٠﴾

Artinya: “*tidak ada blasan kebaikan kecuali kebaikan (pula).*” (Q.S. Al-rahman:60)

Maksud dari ayat tersebut adalah ketika kita melaksanakan kebaikan, maka akan memperoleh balasan yang baik pula. Selain itu, Allah juga memerintahkan untuk berbuat baik dalam segala hal dan mengharamkan perbuatan yang buruk dalam segala hal (Maraghi, 1974). Maka hindarilah perbuatan buruk seperti membuang limbah dan sampah sembrangan ke perairan, agar kita terhindar dari murka Allah.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan September - November 2020 di Laboratorium Kimia Organik dan Di Laboratorium Layanan Instrument Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah seperangkat alat gelas laboratorium, neraca analitik, mortar dan alu, spatula, aluminium foil, mika wrapping, gunting, bola hisap, lampu neon 40 watt, lemari asam, kertas saring Whatmann nomer 42, oven, wadah kaca 10 x 10 x 25, seperangkat *microwave digestion*, seperangkat instrument spektrofotometer *Optic Density* dan seperangkat instrument spektrofotometer serapan atom (SSA) merk varian spectra AA 240 yang dilengkapi dengan lampu katoda tembaga (Cu).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah mikroalga hidup *Chlorella sp* dan air hasil kultivasi di laboratorium kimia organik, larutan standar Cu, akuades, akuabides, H₂O₂ (E-Merck) dan HNO₃ (E-Merck).

3.3 Rancangan Penelitian

Sampel *Chlorella sp* dan air hasil kultivasi menggunakan media ekstrak taugé (MET) dilakukan uji awal kadar logam Cu. Pemaparan sampel *Chlorella sp* dilakukan dengan penambahan larutan CuSO₄ anhidrat sebesar 0,6; 0,8 dan 1,0 mg/L (Musa, dkk., 2013) dalam 1 L akuades. Setelah itu dilakukan uji kadar Cu pada biomassa *Chlorella sp* dan air hasil pemaparan menggunakan metode destruksi basah tertutup, penentuan kadar Cu dilakukan dengan menggunakan instrumentasi SSA dengan teknik adisi standar (Urifah, 2017 dan Hasan dan Al-kubaisi, 2016).

3.4 Tahap Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Kultivasi sampel.
2. Uji konsentrasi Cu awal pada sampel dan air hasil kultivasi.
3. Pemaparan sampel dengan larutan logam Cu anhidrat.
4. Destruksi sampel.
5. Pembuatan kurva kalibrasi
6. Analisis tembaga (Cu) dalam *Chlorella sp* dan air.
7. Analisis data.

3.5 Metode Penelitian

3.5.1 Kultivasi Sampel

Sampel *Chlorella sp* dikultivasi di laboratorium kimia organik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahîm Malang. Metode kultivasi dapat dilakukan

dengan cara 100 gram taugé dipanaskan dalam 500 mL aquades selama 30 menit, setelah itu 864 mL aquades dimasukkan dalam erlenmayer 1000 mL, ditambah dengan isolat *Chlorella sp* 150 mL dan 36 mL ekstrak taugé. Erlenmayer ditutup menggunakan aluminium foil dan mika *wrap* (Prihantini, Putri & Yuniati, 2005).

3.5.2 Preparasi Konsentrasi Lrutan Logam Berat Cu

Pembuatan larutan stok tembaga (Cu) 1000 mg/L dibuat dengan melarutkan 1,2560 g CuSO₄ dalam 1 L akuabides (Suratno, 2013). Larutan Cu yang dibuat dari larutan stok sebagai larutan pencemar dengan konsentrasi 0,6 mg/L sebanyak 1,8 mL; 0,8 mg/L sebanyak 2,4 mL dan 1,0 mg/L sebanyak 3 mL yang diambil dari larutan stok Cu 500 mg/L, kemudian masing-masing dilarutkan dalam 1500 mL aquadenim.

3.5.3 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Cu

Mikroalga *Chlorella sp* dihitung kepadatan sel sebesar $3,3 \times 10^6$ dengan menggunakan spektrofotometer Densitas Optik dengan nilai OD sebesar 1,1 dan panjang gelombang 680 nm. Mikroalga sebanyak 500 mL dari hasil kultivasi *Chlorella sp* diletakkan dalam satu wadah kaca dan media tanam dengan gelas ukur kemudian ditambahkan 1 L aquades. Wadah kaca yang dibutuhkan adalah sebanyak empat buah. Satu wadah kaca hanya berisi *Chlorella sp* dengan nutrien, sedangkan tiga wadah kaca lainnya ditambah dengan tanaman *Chlorella sp* sekaligus larutan logam Cu dengan konsentrasi 0,6; 0,8 dan 1,0 mg/L. Wadah kaca diletakkan dibawah lampu neon 40 watt dan diberi tanda untuk menunjukan

level ketinggian air. Kemudian biomassa *Chlorella sp* diambil setelah 8 hari pemaparan (Urifah, 2017). Pemaparan dilakukan pengulangan sebanyak dua kali.

Tabel 3.1 Pemaparan sampel dan kontrol

Pemaparan		
A ₁	B ₁	C ₁
A ₂	B ₂	C ₂

Keterangan:

A, B, C = Variasi Konsentrasi (ppm) [A: 0,6; B: 0,8; C: 1,0]

1, 2 = Pengulangan

3.5.4 Destruksi Sampel

Setelah tahap pemaparan, sampel dikeringkan 120 °C selama 2,5 jam kemudian dihaluskan dengan mortar. Sampel yang telah dilakukan preparasi dapat dilakukan desruksi dengan metode basah tertutup.

Desruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion* dilakukan dengan cara menimbang sampel *Chlorella sp* yang sudah dihaluskan sebanyak 0,2 g, kemudian dimasukkan kedalam *vessel*. Sampel ditambahkan reagen 7 mL HNO₃ + 1 mL H₂O₂, kemudian *vassel* ditutup. Diatur suhu dan tekanan sesuai dengan metode kemudian klik tombol *start*. Proses desruksi ditunggu sampai selesai dan ketika suhu mulai turun *vassel* dapat dibuka. Hasil destruksi dilakukan analisis kadar logam Cu menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) dengan panjang gelombang sebesar 324,8 nm. Analisa dilakukan dengan dua kali pengulangan.

3.5.5 Pembuatan kurva kalibrasi

Analisis sampel menggunakan AAS diawali dengan pembuatan kurva standart yaitu dengan cara Sebelumnya, dibuat kurva standart sebagai kalibrasi pada konsentrasi 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1 mg/L dilakukan dengan cara melarutkan 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; dan 2,5 mL dari larutan stok Cu 10 mg/L kemudian diencerkan dengan menggunakan 25 mL aquadenim. Setelah itu larutan dihomogenkan dan didiamkan beberapa saat.

3.5.6 Anlisa Tembaga (Cu) pada *Chlorella sp* dengan Instrumen SSA

Sampel hasil destruksi didinginkan sampai proses analisis kadar Cu siap dilakukan. Kadar Cu ditentukan dengan menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atom (SSA) yang dilengkapi dengan lampu katoda Cu merk varian spectra AA 240. Penentuan kadar dilakukan pada panjang gelombang 324,8 nm sesuai dengan ketentuan panjang gelombang sinar yang dapat diserap oleh atom Cu. Dilanjutkan dengan pengukuran absorbansi dengan SSA.

3.5.7 Karakterisasi sampel *Chlorella sp* menggunakan FTIR

Sampel mikroalga *Chlorella sp* sebelum dan sesudah treatment dengan logam Cu dilakukan identifikasi menggunakan FTIR. Sampel yang telah dikeringkan kemudian dicampur dengan KBr dan digerus dengan mortaragate. Selanjutnya campuran sampel dan KBr dipres untuk membentuk pellet dan diletakkan dalam cell holder dalam instrument FTIR dan dianalisis pada bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1}

3.5.8 Analisis Data

Pengukuran absorbansi sampel dilakukan menggunakan SSA dengan pengulangan sebanyak dua kali.

Tabel 3.2 Hasil pengukuran absorbansi variasi konsentrasi

Variasi Hari	Variasi Konsentrasi		
	0,6 ppm	0,8 ppm	1,0 ppm
8 ₁			
8 ₂			

Data pembuatan kurva standart memiliki hubungan antara konsentrasi dan absorbansi, sehingga konsentrasi tembaga dapat diketahui melalui persamaan regresi linier berikut:

$$Y = bx + a \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana:

- Y = Absorbansi Sampel
- x = Konsentrasi Sampel
- b = *Slope*
- a = *Intersep*

Berdasarkan hasil perhitungan pada regresi linier, maka berat tembaga sesungguhnya dalam sampel dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Cu} = \frac{V_p \times b \times f_p}{w}$$

Dimana:

- V_p = Volume Pengenceran (L)
- b = Kadar yang Terbaca Instrumen (mg/L)
- w = Massa Sampel (Kg)
- f_p = Faktor Pengenceran

Analisis hasil secara statistik untuk membedakan adanya perbedaan nyata atau tidak antar variabel terikat dan variabel kontrol (variasi konsentrasi dan waktu) hasil fito remediasi menggunakan makroalga *Chlorella sp* dilakukan menggunakan analisis ANOVA satu arah (sudirjo, 2013).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kultivasi mikroalga *Chlorella sp.*

Kultivasi sampel dilakukan di Laboratorium Organik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Sebelumnya dipersiapkan alat yang dibutuhkan dalam keadaan steril untuk meminimalisir pengaruh kontaminasi yaitu dilakukan autoklaf terlebih dahulu dalam suhu 120 °C. Proses kultivasi dilakukan dengan menggunakan media tumbuh ekstrak taugé. Media ekstrak taugé mengandung nutrisi baik mikro maupun makro yang dibutuhkan untuk tumbuh (Prihantini, 2015 dan Imelda, dkk., 2018. Berfungsi untuk mengaktifkan proses fotosintesis yang berlangsung di dalam selnya (Wulandari, dkk., 2010).

Pengkondisian kultur dilakukan dengan tujuan agar didapatkan kultur *Chlorella sp* dalam jumlah yang seragam, pengukuran jumlah kultur *Chlorella sp* tersebut dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang menghasilkan nilai OD (*Optical Density*) sebesar 1,1. Nilai OD sebesar 1,1 setara dengan kepadatan $3,3 \times 10^6$ sel/mL, hal tersebut didapatkan berdasarkan pada hitungan kepadatan sel *Chlorella sp* yang dilakukan oleh Maharsyah (2013) dimana pada pengukuran kepadatan sel mikroalga *Chlorella sp* dengan nilai OD sebesar 0,33 setara dengan kepadatan sel 10^6 sel/mL.

Hasil uji OD berupa nilai absorbansi yang belum seragam kemudian dilakukan penyetaraan nilai absorbansi. Pada absorbansi yang lebih tinggi dilakukan pengenceran dengan aquades sedangkan pada hasil pengukuran kepadatan yang lebih

rendah dilakukan penambahan isolat dengan kepadatan yang lebih tinggi untuk mencapai kepadatan yang seragam yaitu 1,1 setara dengan kepadatan $3,3 \times 10^6$ sel/mL. Nilai OD sebesar 1,1 digunakan untuk memperoleh hasil biomasa yang cukup untuk digunakan dalam proses destruksi. Biomassa yang tinggi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu intensitas cahaya yang divariasikan waktu antara gelap untuk istirahat dan menyimpan makanan sedangkan kondisi terang digunakan untuk proses fotosintesis (10:14). Temperatur 24-26 °C mikroalga akan tumbuh dengan subur, kemudian nutrisi yang digunakan oleh mikroalga telah dipenuhi oleh media ekstrak tauge yang lengkap dengan kandungan mikro dan makro nutrisi. Faktor terakhir yaitu pengadukan agar tidak terjadi pengendapan, pencampuran nutrisi serta peningkatan difusi gas CO₂ (Hadiyanto dan Azim, 2012).

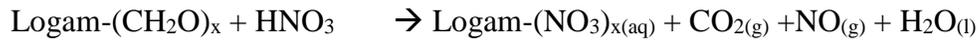
4.2 Uji konsentrasi awal logam Cu pada sampel dan air hasil kultivasi

Uji konsentrasi awal logam Cu pada sampel bertujuan untuk mengetahui keadaan awal sampel, sehingga dalam uji selanjutnya dapat diketahui perubahan yang terjadi setelah pemaparan dengan logam. Uji konsentrasi awal logam dilakukan pada sampel kontrol. Uji konsentrasi menggunakan AAS diawali dengan proses destruksi menggunakan *microwave digestion*. Tujuan dari destruksi yaitu untuk memisahkan atau menghilangkan ion-ion logam lain yang dapat mengganggu proses analisis sehingga kesalahan dapat ditekan seminimal mungkin.

Sampel *Chlorella sp* yang telah kering ditambahkan dengan asam nitrat yang berfungsi sebagai agen pengoksidasi, Asam nitrat dicampurkan dengan peroksida yaitu H₂O₂ dengan perbandingan 7:1, fungsi dari penambahan peroksida yaitu untuk

meminimalisir padatan sisa bahan organik (Tanase, dkk., 2004) selain itu peroksida juga berfungsi untuk memaksimalkan proses dekomposisi sampel (Yawar, 2010).

Reaksi yang terbentuk adalah sebagai berikut (Wulandari dan Sukesu, 2013):



Hasil dari destruksi didapatkan larutan yang jernih, hal ini sesuai dengan penelitian Raimon (1993) yang menunjukkan bahwa proses perombakan senyawa organik telah terjadi secara sempurna. Destruksi dengan menggunakan *microwave digestion* memanfaatkan suhu dan tekanan yang tinggi bertujuan untuk mendapatkan larutan yang jernih dan bebas dari residu (Tanase, dkk., 2004). Sehingga proses destruksi berjalan secara cepat.

Sampel kontrol hasil destruksi dilakukan uji menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atom (SSA) dengan lampu katoda khusus logam Cu (tembaga) pada panjang gelombang 324,7 nm, hasil uji SSA mikroalga *Chlorella sp* mengandung logam Cu sebesar 0,3458 ppm. Sampel awal *Chlorella sp* tanpa penambahan logam dari hasil analisis mengandung logam Cu, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, pertama sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan isolat dari hasil kultur dengan prosedur kultivasi skala semi besar, yaitu pada penambahan nutrisi pertumbuhan mikroalga ditambahkan pupuk walne yang mengandung berbagai macam bahan kimia, salah satu nutrisi yang ditambahkan yaitu

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,9 gram yang dilarutkan dalam 100 mL aquades (Aprilliyanti, dkk., 2016). Faktor kedua yaitu aquades yang digunakan dalam proses kultivasi serta pemaparan juga mengandung mineral yang berpotensi menyumbang logam dalam mikroalga *Chlorella sp.* Aquades yang digunakan sebagai media lingkungan hidup *Chlorella sp.* dilakukan destruksi terbuka dengan penambahan asam kuat serta peroksida sehingga dapat mengoksidasi mineral-mineral yang terkandung didalamnya. Logam Cu yang didapatkan dari uji analisis aquades menggunakan instrument SSA dengan hasil absorbansi sebesar 0,0200 yaitu setara dengan konsentrasi sebesar 0,0969 ppm.

4.3 Penentuan konsentrasi logam Cu yang diserap oleh *Chlorella sp.*

Sampel hasil kultivasi yang telah diseragamkan jumlah kepadatan selnya diberikan treatment dengan menambahkan logam CuSO_4 anhidrat pada wadah kaca untuk proses pemaparan. Sampel *Chlorella sp.* yang ditambahkan logam Cu dengan tiga variasi konsentrasi yaitu 0,6; 0,8 dan 1,0 ppm selama delapan hari di bawah lampu LED 7 watt dengan fotoperiodesitas 14 jam terang dan 10 jam gelap.

Teramati masing-masing kotak kaca setiap harinya mengalami penurunan debit air menunjukkan adanya aktifitas sel pada mikroalga untuk menyerap nutrisi maupun logam yang terkandung dalam air, aktifitas ini dibuktikan dengan adanya gelembung oksigen pada permukaan kotak kaca maupun di dasar kaca. Prosentase oksigen harus dikontrol dengan pengadukan sehingga kadar oksigen tidak terakumulasi dalam medium dan menjadikan racun. Hasil penyerapan logam Cu oleh *Chlorella sp.* dari instrumen SSA disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan konsentrasi yang berkurang pada pemaparan

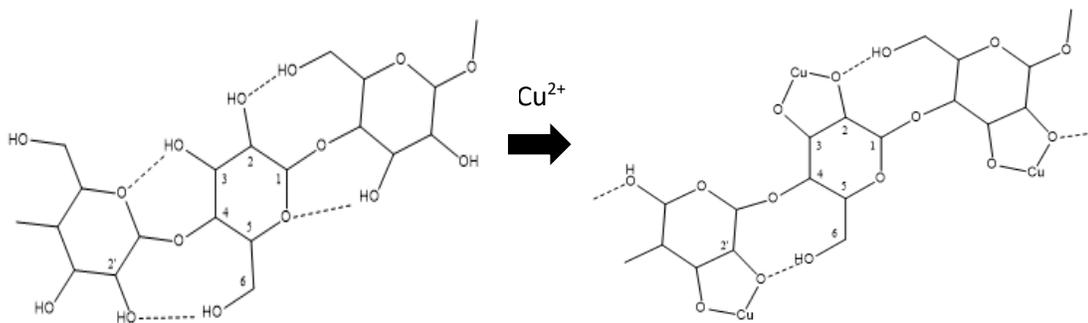
Konsentrasi logam Cu (ppm)	Konsentrasi yang berkurang (ppm)
0,6	0,0993
0,8	0,4074
1,0	0,5465

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu seperti yang terlihat dalam Tabel 4.1. pada konsentrasi 0,6; 0,8 dan 1,0 ppm logam Cu mampu diserap oleh sampel sebanyak 0,0993; 0,4074 dan 0,5465 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa trend penyerapan pada setiap konsentrasi logam dalam lingkungan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan konsentrasi yang ditambahkan, proses penyerapan ini sesuai dengan teori absorpsi yaitu penyerapan masuk keseluruhan bagian material penyerap (Rosita, 2016). Selain itu prinsip penyerapan logam didasarkan pada perbedaan konsentrasi logam Cu yang ada didalam sampel *Chlorella sp* dan pada air media tumbuh tanaman, adanya perbedaan ini menyebabkan terjadinya transfer massa secara difusi dan osmosis yaitu terjadinya perpindahan konsentrasi suatu zat berpindah dari konsentrasi yang tinggi berpindah pada konsentrasi yang rendah (Hamzah & Priyadarsini, 2019). Begitu juga dengan gugus pengikat logam (fitokhelatin) pada sampel yang akan terbentuk semakin panjang dalam lingkungan yang ditempati berada pada konsentrasi yang tinggi.

4.4 Proses penyerapan logam oleh *Chlorella sp*

4.4.1 Proses adsorpsi

Penyerapan logam oleh mikroalga dapat terjadi secara adsorpsi dan absorpsi. Penyerapan secara adsorpsi yaitu proses penyerapan ion yang tertahan dipermukaan partikel penyerap (Mantel, 1951 dan Ahalya, dkk., 2003). Dalam hal ini proses adsorpsi terjadi pada dinding sel yang mengandung selulosa, dimana selulosa tersebut dalam rumus strukturnya mengandung gugus aktif hidroksil yang menyebabkan terjadinya interaksi dengan logam. Berikut merupakan reaksi pengikatan selulosa dengan logam Cu.



Gambar 4.1 mekanisme selulosa mengikat logam Cu (Salwaa dan Burchard, 2000)

Gambar 4.1 menunjukkan gugus OH pada C2 dan C3 pada struktur selulosa akan mengalami deprotonasi, hal ini disebabkan H kation terikat pada alkoksida anionik dimana atom H akan mudah terputus dari atom O yang memiliki elektronegatifitas lebih tinggi. Selain itu gugus OH bersifat polar sehingga mampu mengikat logam berat dalam lingkungannya yang bersifat polar juga. Hal ini sesuai dengan prinsip pelarutan *like dissolve like* yaitu kelarutan zat berdasarkan sifat kepolaran yang sama (Chang, 2004). Ketika OH menangkap logam Cu maka akan

terjadi proses detoksifikasi yaitu proses pengkonversian logam berat menjadi bentuk yang tidak beracun (Dewi dan Nuravivah, 2018). Selain itu handiyatmo (1999) dan Istigfarini (2017) menjelaskan proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh luas permukaan adsorben yaitu semakin kecil ukuran adsorben maka akan semakin tinggi daya adsorpsi, hal ini disebabkan semakin kecil ukuran diameter adsorben maka semakin besar luas permukaan serta tenaga inter molekuler yang dihasilkan juga semakin besar sehingga penyerapan yang dihasilkan juga lebih baik, sesuai dengan yang kita ketahui ukuran diameter sel mikroalga *Chlorella sp* yang sangat kecil yaitu sebesar 3-30 μm .

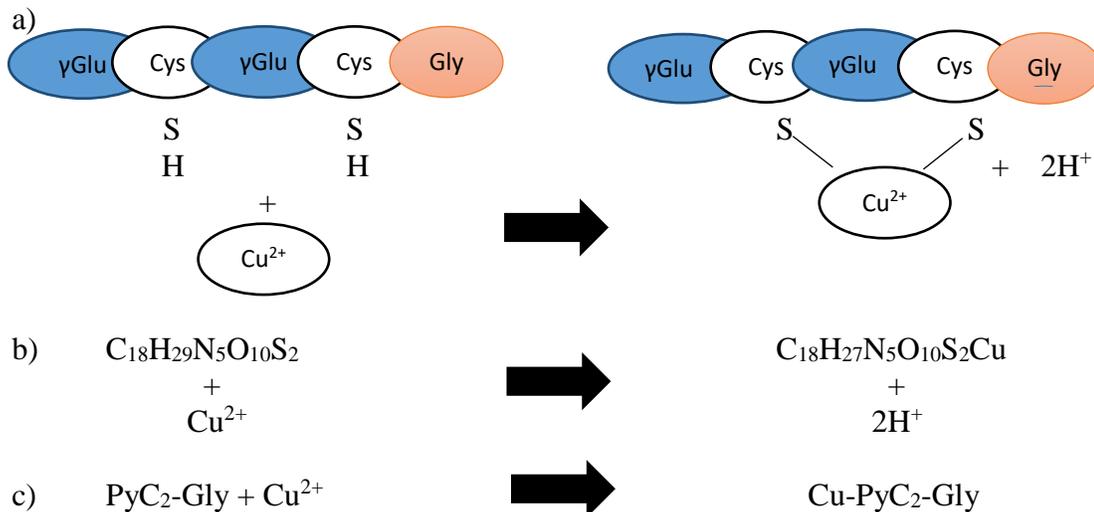
4.4.2 Proses absorpsi

Penyerapan logam secara absorpsi, terjadi juga di dalam dinding sel dimana logam yang diserap akan diikat oleh gugus sulfur (S) dari asam amino sistein. Setelah itu, protein reseptor akan mengenali adanya logam yang masuk sehingga gen akan mengkode pembentukan metallothionin (MT). Protein MT merupakan protein pengikat logam. Kandungan sistein yang tinggi menyebabkan protein memiliki daya afinitas yang kuat terhadap logam. Dua senyawa sulfur yang terikat pada asam amino sistein akan bereaksi dengan logam protein sehingga protein MT membentuk struktur seperti Gambar 4.2.

Chlorella sp merupakan kelompok mikroalga yang dilaporkan memiliki senyawa fitokelatin yang dapat mengikat logam, dimana ligan fitokelatin ini tersusun dari beberapa gugus asam amino yaitu glutamin, sistein dan glisin. Logam akan terikat dengan gugus aktif sulfidril (-SH) yang merupakan basa lunak yang dimiliki

oleh asam amino sistein. Gugus sulfidril tersebut dengan mudah mengikat logam berat dan masuk ke dalam organel sel. Selanjutnya logam tersebut akan terakumulasi di dalam vakuola melalui proses enzimatik (Dewi, 2020; Gratao, dkk., 2019).

Proses penyerapan logam oleh ligan fitokhelatin dapat terjadi ketika terdapat jejak keadaan lingkungan yang terpapar logam. Terbentuknya fitokhelatin merupakan bentuk adaptasi dari lingkungan sebagai detoksifikasi dari senyawa peptide-thiol yang terkandung didalamnya (Jiang, dkk., 2011). Fitokhelatin akan mengikat logam berat, dimana ion-ion logam berat akan berikatan dengan fitokhelatin (PC) membentuk ikatan PC-Logam berat. Struktur umum glutathion yaitu $(\gamma\text{-glu-sis})_n\text{-gli}$, pada umumnya n berada pada kisaran 2-5. Logam berat Cu memiliki daya afinitas yang tinggi terhadap unsur S, sehingga logam Cu akan menyerang ikatan S pada enzim yang menyebabkan kerja enzim berhenti (Bajguz, 2002 dan Jaswiyah, 2016). Berikut merupakan mekanisme penyerapan fitokhelatin.



Gambar 4.2 Perkiraan struktur senyawa kompleks Cu-fitokhelatin berdasarkan (Dennis, dkk., 2019). A. Fitokhelatin membentuk kompleks dengan logam Cu^{2+} . B.

contoh rumus molekul pada PyCDB untuk dasar fitokhelatin 2-glisin dengan dan tanpa terikat logam. C. contoh nama dasar fitokhelatin.

Berdasarkan Gambar 4.2 mekanisme penyerapan Gambar (A) merupakan respon senyawa fitokhelatin ketika mengenali adanya senyawa non esensial seperti Cu^{2+} , maka gugus sulfidril (-S) yang terikat pada dua senyawa sistein berbeda akan mendeponasi atom H^+ dan digantikan oleh logam Cu. Gambar (B) Rumus molekul fitokhelatin, yaitu fitokhelatin akan mendeponasi atom H untuk mengikat logam Cu yang telah terdeteksi olehnya. Gambar (C) Pengikatan logam Cu oleh senyawa fitokhelatin dengan n dasar, dimana jumlah n bertambah seiring dengan bertambahnya kemampuan senyawa fithokelatin dalam mengikat logam Cu.

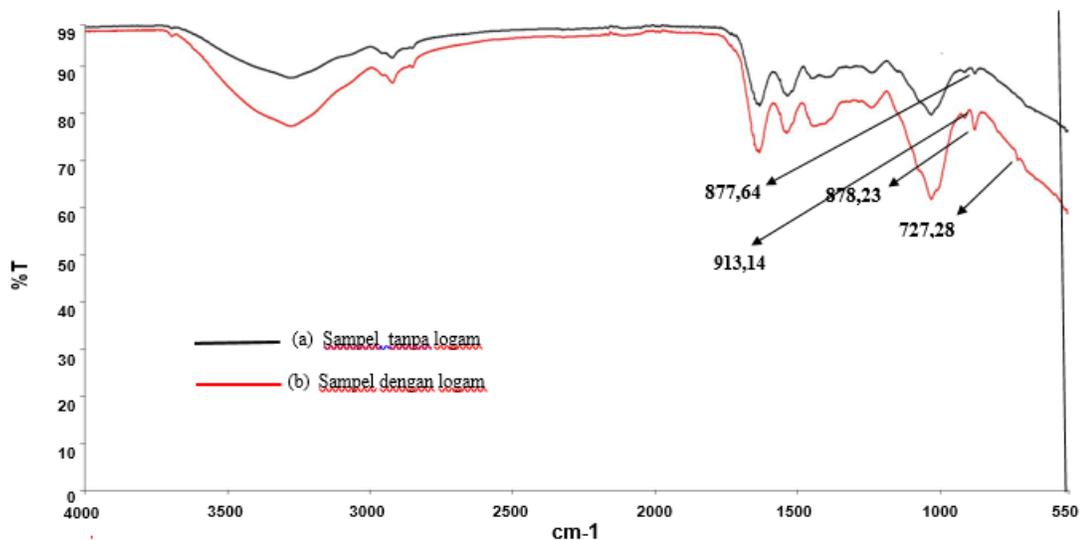
Semakin tinggi konsentrasi logam yang ditambahkan maka semakin besar logam yang diserap oleh sampel hal ini dikarenakan pada sel terdapat senyawa aktif fitokheltain yang akan berikatan semakin panjang seiring dengan banyaknya konsentrasi yang ditambahkan, sehingga selama senyawa fitokhelatin yang terbentuk tersebut belum berada pada titik jenuh maka pengikatann logam akan bertambah seiring dengan bertambahnya konsentrasi logam yang ditambahkan pada lingkungannya.

Selain itu, tingginya penyerapan logam oleh *Chlorella sp* juga dipengaruhi oleh pH dalam suatu larutan, yaitu perubahan pH mempengaruhi susunan gugus fungsi. Ketika pH mengalami kenaikan maka penyerapan yang dilakukan oleh *Chlorella sp* juga naik. Perubahan pH pada lingkungan disebabkan oleh aktivitas pertumbuhan serta fotosintesis *Chlorella sp* yang membutuhkan CO_2 bebas. Penyerapan CO_2 bebas mengakibatkan konsentrasi CO_2 terlarut menurun dan

menyebabkan peningkatan nilai pH. Pada pH yang tinggi permukaan *Chlorella sp* akan bermuatan negatif dan terjadi deprotonasi pada gugus sulfidril sehingga daya serap ion logam semakin meningkat.

4.4.3 Penentuan gugus fungsi dengan FTIR

Hasil pengukuran gugus fungsi dengan menggunakan instrument FTIR yang dilakukan pada sampel mikroalga *Chlorella sp* menunjukkan ciri dari senyawa fitokhelatin yang tersusun dari asam amino glisin, sistein dan glutamin yang ditunjukkan pada gambar 4.3 dan gugus fungsi yang berperan dalam penyerapan sebagai berikut.



Gambar 4.3 Hasil spektra FTIR sampel mikroalga *Chlorella sp* (a) sebelum treatment dengan logam Cu (b) setelah treatment dengan logam Cu

Protein pengikat logam seperti Metallothionin dan Fitokhelatin yang ada pada tumbuhan akumulator memiliki fungsi dalam peningkatan toleransi dan akumulasi logam. Logam Cu dapat dipisahkan dari lingkungan dengan cara mengikatnya dengan

sulfur organic (R-SH) pada residu sistein dari peptida yang ada pada sampel *Chlorella sp* (Hamzah & Priyadarsini, 2019).

Tabel 4.2 interpretasi bilangan gelombang hasil FTIR pada sampel sebelum dan sesudah dilakukan pemaparan dengan logam tembaga.

Gugus fungsi	Referensi bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Sampel tanpa logam (cm ⁻¹)	Sampel dengan logam (cm ⁻¹)	Sumber penelitian terdahulu
Vibrasi ulur O-H	2500-3300	3281,49	3280,32	Shrener, 2004
Vibrasi ulur C-H stretching dari gugus metilen -CH ₂	2853-2962	2923,46	2922,10	Puspawati, dkk., 2012 dan Safrianti, dkk., 2012
Asimetri CH ₂ stretching vibrasi sedang dari gugus -CH ₂ -S-	2985-2920			Socrates, 1994
C=O stretching dengan kontribusi dari N-H amida bending	1635	1634,39	1634,50	Puspawati, dkk., 2012
Gugus thiol  vibrasi kuat	~ 950	-	913,14	Socrates, 1994
S-H vibrasi lemah	895-785	877,64	878,23	Socrates, 1994
C-S stretching	720	-	727,28	Socrates, 1994

Tabel 4.2 menunjukkan adanya serapan dari senyawa pengikat logam pada sampel sebelum treatment yaitu teridentifikasi gugus S-H dengan vibrasi sangat lemah pada bilangan gelombang 877,64 cm⁻¹ dan mengalami pergeseran bilangan gelombang pada sampel yang telah dilakukan treatment logam pada bilangan gelombang 878,23 cm⁻¹. Efek ikatan hidrogen pada kelompok S-H sangat kecil dibandingkan dengan golongan N-H dan O-H, namun adanya gugus ini dapat

diperkuat dengan vibrasi stretching dari gugus C-S pada sampel setelah treatment pada yang ditunjukkan pada bilangan gelombang $727,28 \text{ cm}^{-1}$. Selain itu pada sampel setelah treatment menunjukkan adanya serapan khusus dari senyawa thiol (R-SH) dengan vibrasi ulur yang kuat sehingga menyebabkan pergeseran serapan pada bilangan gelombang $913,14 \text{ cm}^{-1}$, hal ini diindikasikan karena adanya efek ikatan logam Cu yang terikat pada S dari senyawa thiol. Sulfur thiol memiliki kemampuan untuk mendeprotonasi unsur H sehingga bersifat nukleofilik. Ketika sulfur bertemu dengan logam Cu yang bersifat elektrofil maka akan menarik kuat S dan menyebabkan pergeseran bilangan gelombang dari serapannya.

4.5 Penentuan Persen Tembaga yang Terserap dalam *Chlorella sp*

Chlorella sp merupakan alga hijau dengan kemampuan resisten yang kuat, dan memiliki kemampuan untuk mengabsorpsi serta mengadsorpsi ion logam dari suatu larutan membentuk kompleks dengan ligan (Adi, 2010 dan Pehlivan, 1995). *Chlorella sp* disebut sebagai *filter feeder* atau organisme yang mampu menyaring partikel yang berasal dari suspensi di lingkungan hidupnya (Dewi Endah, 2015), sehingga menjadikan penelitian fitoremediasi dengan *Chlorella sp* untuk mengetahui penyerapan maksimal logam Cu. Kemampuan *Chlorella sp* dalam meremediasi logam berat dalam air dapat diketahui dengan persen teremediasinya. Persen logam tembaga teremediasi oleh *Chlorella sp* ditampilkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Persen tembaga teremediasi *Chlorella sp*

Konsentrasi Tembaga	Tembaga Teremediasi (%)
0,6 ppm	16,54
0,8 ppm	50,92
1,0 ppm	54,26

Data konsentrasi penyerapan logam pada tabel 4.1 sebelumnya menunjukkan trend penyerapan logam oleh *Chlorella sp* semakin meningkat sehingga mempengaruhi prosentase penyerapan, yaitu nilai persen teremediasi didapatkan dari perbandingan konsentrasi terserap dengan konsentrasi awal logam yang ditambahkan dalam air dikalikan dengan 100%. Dari Tabel 4.2 maka dapat diketahui bahwa prosentase penyerapan berturut-turut yaitu 16,54%; 50,92% dan 54,26%. Efisiensi kapasitas penyerapan terbesar terjadi pada konsentrasi tembaga 1,0 ppm dengan prosentase penyerapan sebesar 54,26 %. Dari hasil tersebut dapat diartikan bahwa dengan konsentrasi logam Cu sebesar 1 ppm dapat diserap oleh *Chlorella sp* kurang lebih sebanyak 0,5465 mg/L oleh $3,3 \times 10^6$ sel/mL selama 8 hari. Peningkatan konsentrasi penyerapan seiring dengan peningkatan konsentrasi logam berkaitan dengan adanya efek cekaman logam yang terjadi sehingga meningkatkan semua efek transfer ionik dan mengakibatkan penyerapan ion logam lebih tinggi (Widiyani dan Rita, 2014). Selain itu dampak utama adanya logam berat yang terserap oleh sel mikroalga menyebabkan penghancuran penghalang difusi dan mendorong penerimaan logam masuk kedalam sel, sehingga zat dengan konsentrasi logam yang lebih tinggi akan berpindah pada zat dengan konsentrasi logam yang lebih rendah (Hamzah & Priyadarsini, 2019). Proses ini dimulai dengan adsorpsi eksternal ion

logam berat pada dinding seluler dan dilanjutkan dengan proses absorpsi ke dalam protoplasma sel yang mengakibatkan pembentukan rantai asam amino yang semakin panjang (Zayadan, dkk., 2013)

4.6 Parameter Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan pengurangan limbah atau polutan dengan memanfaatkan tumbuhan, namun dengan berkembangnya industri membuat semakin sempitnya lahan. Mikroalga merupakan mikroorganisme yang dapat tumbuh tanpa membutuhkan lahan yang luas sehingga dapat dijadikan solusi pengganti tumbuhan dalam meremediasi lingkungan yang tercemar, bahkan dalam hitungan jam mikroalga dapat melakukan pembelahan sel. Oleh sebab itu kekuatan tumbuhan dalam meremediasi dapat didasarkan pada parameter *bioconcentration factor* (BCF)

4.6.1 Penentuan Bioconcentration Factor (BCF)

BCF merupakan parameter tumbuhan dalam mengakumulasi logam. BCF adalah kemampuan suatu organisme dalam mengakumulasi polutan atau bahkan bahan kimia di dalam tubuhnya. Nilai BCF didapatkan dari hasil perbandingan antara konsentrasi polutan yang terserap oleh sampel (*Chlorella sp*) dengan konsentrasi polutan sisa yang berada di air lingkungan hidup.

Pengukuran BCF dilakukan berdasarkan perhitungan berat kering. Analisis BCF bertujuan untuk mengetahui kesesuaian potensi mikroalga *Chlorella sp* dalam menyerap logam tembaga. Hasil pengukuran BCF ditampilkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran BCF

Konsentrasi sampel (ppm)	Nilai BCF (mg/Kg BK)
0,6	5,45
0,8	4,62
1,0	4,59

Data Tabel 4.3 diketahui dari masing-masing nilai BCF setiap konsentrasi menunjukkan nilai konsentrasi berurutan 0,6; 0,8 dan 1 ppm adalah 5,45; 4,62 dan 4,59 mg/Kg BK. Hasil dari pengukuran BCF yaitu >1 , yang berarti bahwa mikroalga *Chlorella sp* tergolong akumulator yang baik dan digolongkan dalam tanaman fitoekstraksi, yaitu tanaman yang dapat menyerap polutan dari air setelah itu disimpan dalam sel (Zarinkamar, dkk., 2013 dan Amin, dkk., 2018). tren BCF yang semakin menurun seiring dengan kenaikan konsentrasi memenuhi prinsip dari indikator biokonsentrasi faktor yang menunjukkan respon kekuatan *Chlorella sp* dalam mengakumulasi logam dari lingkungannya. Nilai BCF >1 menunjukkan kekuatan suatu tumbuhan yang masih resisten terhadap lingkungannya, sehingga ketika waktu kontak atau konsentrasi ditambahkan mikroalga *Chlorella sp* masih dapat menyerap logam. Naman proses tersebut akan terhenti ketika tumbuhan sudah tidak dapat lagi mentoleransi dan logam yang terakumulasi dalam keadaan lewat jenuh yang ditunjukkan dengan nilai BCF kurang dari 1 artinya sampel *Chlorella sp* tergolong dalam tanaman *excluder* (Baker, 1981). Yaitu sifat tanaman yang akan membatasi penyerapan logam berat pada lingkungannya baik sedimen maupun air yang masuk kedalam tubuh mikroalga (sampel) (Yoon, dkk., 2006).

4.7 analisis pengaruh variasi konsentrasi dan variasi waktu menggunakan one-way ANOVA

Analisis selanjutnya dilakukan dengan menggunakan uji statistik dengan tujuan untuk penetapan dan penerapan bagaimana suatu hipotesis dapat membantu hasil uji penelitian. Uji statistik dengan metode *one way* ANOVA dilakukan untuk mengetahui variasi konsentrasi terhadap remediasi tembaga oleh *Chlorella sp.* uji BNT dan LSD digunakan untuk mengetahui pada variasi berapa *Chlorella sp* dapat melakukan penyerapan secara signifikan. Hipotesis pada analisis ini yaitu:

$H_0 = 0$, tidak ada perbedaan pengaruh variasi konsentrasi terhadap tembaga yang diremediasi oleh *Chlorella sp.*

$H_1 \neq 0$, maka terdapat pengaruh variasi konsentrasi terhadap tembaga yang diremediasi oleh *Chlorella sp.*

Pengujian hipotesis dilakukan berdasarkan dua uji yaitu uji F dan uji probabilitas. Hasil dari *test of between subject effect* dinyatakan F-hitung > F-tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Uji probabilitas dinyatakan nilai signifikansi (sig) < 0,05 (α) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hasil uji statistika metode one-way ANOVA adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil uji *one-way* ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.303	3	.101	84.338	.000
Within Groups	.005	4	.001		
Total	.308	7			

Uraian Tabel 4.4 dapat dilakukan analisis uji F-table dari *within groups* dengan nilai df 4 dan *between groups* dengan nilai df 3, maka didapatkan f-tabel

sebesar 6,50 sedangkan F-hitung dari hasil uji *one-way* ANOVA sebesar 84,338. Dapat disimpulkan bahwa $F\text{-hitung} > F\text{-tabel}$ yaitu $84,338 > 6,50$ Sedangkan uji signifikasi didapatkan nilai sig sebesar $0,000 < \text{nilai } \alpha (0,05)$, Sehingga dari pengujian didapatkan hasil bahwa terdapat minimal satu pengaruh variasi konsentrasi terhadap tembaga yang diremediasi oleh *Chlorella sp.* Kemudian dilanjutkan dengan uji lanjut perbandinagn berganda menggunakan uji BNT. Uji BNT disebut juga dengan *posthoc test* pada table tukey HSD yang akan menunjukkan hasil uji yang dinyatakan signifikan atau minimal terdapat satu pasang treatmen yang memiliki pengaruh berbeda. Hasil uji BNT ditunjukkan pada Tabel 4.5:

Table 4.6 Hasil uji BNT

Konsentrasi tembaga (mg/L)	Rata-rata	Notasi
0,6	0,099150	A
0,8	0,407450	B
1,0	0,542650	B

Tabel 4.5 menunjukkan satu notasi yang berbeda pada konsentrasi 0,6 mg/L yang dinotasikan dengan A sedangkan pada konsentrasi 0,8 dan 1,0 mg/L kemampuan *Chlorella sp* dalam meremediasi logam tembaga yaitu menunjukkan hasil yang sama dan dinotasikan dengan huruf B. Notasi beda nyata ditunjukkan pada konsentrasi 0,6 mg/L yang mampu meremediasi sebesar 0,099150 mg/L, namun demikian rata-rata tertinggi dari remediasi logam terjadi pada konsentrasi 1,0 mg/L yaitu sebesar 0,542650 mg/L.

4.8 Kajian Fitoremediasi Dalam Perspektif Islam

Hasil fitoremediasi pada mikroalga *Chlorella sp* menunjukkan bahwa sampel mikroalga dapat menyerap logam yang berada pada perairan, dibuktikan pada hasil uji SSA yang memberikan hasil *Chlorella sp* dapat menyerap logam sebanyak 54,26 %. Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa makhluk kecil tuhan (mikroalga) diciptakan bukan tanpa tujuan, sebagaimana dijelaskan dalam surat al-Anbiya ayat 16:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لَاعِبِينَ ﴿١٦﴾

Artinya : “ dan tidaklah kami ciptakan langit dan bumi dan segala yang ada diantara keduanya dengan bermain-main” (Q.S al-Anbiya: 16).

Disebutkan terdapat beberapa tujuan besar Allah dalam menciptakan alam semesta ini yaitu tanda kekuasaan Allah bagi yang memikirkan, memenuhi kebutuhan hidup manusia sebagai suatu rahmat bagi Allah, serta menyempurnakan nikmat dan ujian bagi manusia serta untuk mengetahui siapa yang lebih baik perbuatannya dalam hidup ini. Hal ini juga dipertegas dalam surat al-Baqarah ayat 29:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَافِي الْأَرْضِ جَمِيعاً ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ ۗ وَهُوَ

بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٢٩﴾

Artinya: “Dia (Allah) yang menciptakan segala apa yang ada di bumi untuk kalian, kemudian Dia menuju langit, lalu menyempurnakan menjadi tujuh lapis langit. Dia maha mengetahui atas segala sesuatu.” (Q.S al-Baqarah: 29)

Maksud dari ayat ini adalah Allah menciptakan segala sesuatu yang terdapat di bumi ini dengan segala isinya agar semua makhluk Allah dapat memperoleh manfaatnya. Setelah dengan penciptaan bumi, Allah hendak menyempurnakan dengan diciptakannya tujuh lapis langit (Al-Mahalli, dkk., 2007). Sebagaimana Allah

menciptakan mikroalga *Chlorella sp* yang sebagian orang masih beranggapan bahwa tanaman tersebut tidak ada manfaatnya, namun dengan adanya penelitian ini dapat kita ketahui bahwa makhluk kecil Allah yang disebut *Chlorella sp* memiliki manfaat besar dalam menjaga dan melestarikan alam. Dengan demikian, agar kita mengetahui bahwa Allah mengetahui segala sesuatu dengan kebesaran-Nya.

Tujuan diciptakan alam semesta beserta isinya untuk memenuhi kebutuhan manusia dijelaskan dalam surat Luqman ayat 20:

أَلَمْ تَرَوْا أَنَّ اللَّهَ سَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ وَأَسْبَغَ عَلَيْكُمْ نِعَمَهُ ظَاهِرَةً وَبَاطِنَةً ط
وَمِنَالنَّاسِ مَنْ يُجَادِلُ فِي اللَّهِ بِغَيْرِ عِلْمٍ وَلَا هُدًى وَلَا كِتَابٍ مُنِيرٍ ﴿٢٠﴾

Artinya: “ Tidakkah kamu perhatikan sesungguhnya Allah telah menundukkan untuk (kepentingan) mu apa yang ada di langit dan apa yang di bumi dan menyempurnakannya untuk nikmat-Nya lahir dan batin. Dan diantara manusia ada yang membantah tentang (keesaan) Allah tanpa ilmu pengetahuan atau petunjuk dan tanpa kitab yang memberi penerangan” . (Q.S Luqman: 20).

Pengertian ekologi dalam islam merupakan hubungan antara Tuhan, manusia dan alam. Tuhan berada diposisi sebagai pencipta keduanya (manusia dan alam), dia mempunyai segala bentuk perwujudan manusia, serta menyempurnakan, melengkapi sarana dan prasarana karakteristik, sifat dan ketentuan bagi mereka. Sifat, karakteristik dan ketentuan bagi mereka, sering kali disebut sebagai sunnatullah dan hukum alam (Rofiq nur, 2018).

Quraisy shihab menenrangkan kalimat pada kalimat سَخَّرَ berarti penduduk untuk dimanfaatkan. Sedangkan segala sesuatu baik dari sifat maupun keadaannya enggan untuk ditundukkan, kecuali penundukkan Allah tuhan seluruh alam.

Penundukan Allah pada manusia biasanya berupa ilham sehingga dapat mengetahui sifat dan ciri yang sudah melekat padanya sehingga dapat dimanfaatkan olehnya.

Manusia merupakan satu-satunya makhluk yang dianugerahkan akal budi. Sehingga manusia merupakan satu-satunya makhluk yang paling mulia diantara makhluk ciptaan yang lainnya. Kemuliaan yang diberikan Allah membuat manusia mampu melaksanakan kebijaksanaan serta keunggulan dalam intelektual. Salah satunya menentukan jalan keluar untuk menyelamatkan kelestarian lingkungan dengan mengurangi limbah yang berada di lingkungan dengan memanfaatkan ciptaan Tuhan yaitu mikroalga *Chlorella sp* yang mampu menyerap limbah berupa logam sehingga dapat mengurangi keberadaannya yang membawa pengaruh buruk terhadap lingkungan.

Penyerapan *Chlorella sp* dari hasil penelitian terbukti dapat mengurangi konsentrasi logam yang terdapat dalam perairan. Variasi konsentrasi dan waktu yang digunakan yaitu 0,6; 0,8; dan 1,0 mg/L dalam waktu 8 menunjukkan hasil yang bagus, logam tembaga dapat terserap sampai 54,26 % oleh *Chlorella sp*. Sehingga penggunaan *Chlorella sp* sebagai agen peremediasi dapat diterapkan dalam pengolahan limbah dan pengurangan pencemaran air disekitaran pemukiman dengan menambahkan atau membiakkannya pada lingkungan yang tercemar.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Analisis kemampuan *Chlorella sp* dalam meremediasi logam berat tembaga menunjukkan hasil bahwa *Chlorella sp* merupakan akumulator yang baik dalam meremediasi logam berat yang berada diperairan. Hal ini ditunjukkan dengan hasil uji parameter BCF terbesar yaitu 5,652 mg/Kg Bk bahwa *Chlorella sp* betermasuk dalam katagori tanamanan fitoekstraksi dengan nilai $BCF > 1$.
2. Hasil uji variasi konsentrasi yaitu semakin tinggi konsentrasi logam berat tembaga, maka semakin tinggi daya remediasi *Chlorella sp*. Kemampuan *Chlorella sp* dalam meremediasi logam berat tembaga yaitu 0,6 ppm sebesar 16,54 %; 0,8 ppm sebesar 50,92 % dan 1,0 ppm sebesar 54,26 %. Hal ini didukung dengan adanya gugus R-SH dalam senyawa fitokhelatin hasil FTIR yang ditunjukkan dengan adanya serapan khusus pada bilangan gelombang $913,14 \text{ cm}^{-1}$ dan diperkuat dengan adanya gugus C-S pada bilangan gelombang $727,28 \text{ cm}^{-1}$.

5.2 Saran

Perbaikan dari penelitian ini maka perlu dilakukan penambahan jumlah ulangan dengan simpangan baku yang kecil, serta karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan pada masing-masing variasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, E dan Dyah, N. 2010. Pengurangan Konsentrasi Ion Pb Dalam Limbah Air Elektroplating Dengan Proses Biosorpsi Dan Pengadukan. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol 5. No 1
- Al- Mahalli, Jalaluddin, I & as-Suyuti. 2007. *Tafsir Jalalain, Terj.* Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Amin, H., Arain, B.A., Jahangir, T.M., Abbasi, M.S & Amin, F. 2018. Accumulation And Distribution Of Lead (Pb) In Plant Tissues Of Guar (*Cyamopsis Tetragoloba L.*) And Sesame (*Sesamum Indicum L.*): Profitable Phytoremediation With Biofuel Crops. *Geology, Ecology, And Landscape*. Vol 2. No 1. 51-60.
- Anderson, K. 1999. *Analytical Techniues For Inorganic Contaminants*. Gaitherburg : AOAC International.
- Aprilliyani, S., Soeprobowati, T. R dan Yulianto, B. 2016. Hubungan Kelimpahan *Chlorella sp* Dengan Kualitas Lingkungan Perairan Pada Skala Semi Masal di BBBPBAP Jepara. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol 14. No 2. 77-81.
- Ashish B., K Neeti And K Himanshu. 2013. Copper Toxicity: A Comprehensive Study. *Research Journal Of Recent Science*.
- Asriani. 2017. Identifikasi Logam Tembaga (Cu) Pada Zonasi Radius 1-5 Km Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang Makasar Terhadap Pengaruh Kualitas Air Sumur Gali. *Skripsi*. Fakultas Sains Dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Alaudinmakassar.
- Asyana, dkk., 2016. Analysis of Urinary Stone Based on a Spectrum Absorption FTIR-ATR. *Jurnal of physics*. Conference series 694
- Bajguz, A., 2002. Brassinosteroids and Lead as Stimulators of Phytochelatins Synthesis in *Chlorella vulgaris*. *Jurnal of plant physiology*. 159. 321-324.
- Baker, A., 1981. Accumulators and Excluders Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of plnats nutririon*. 3. 643-645.
- Bold, H. C dan Mj Wyne, 1985. *Introduction To The Algae , Second Edition*, New Jersey : Prentice Hall, Inc.
- Budi M. R. S; Rahardja B. S; dan Masithah E. D. 2018. Potensi Penurunan Konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu) Dan Pertumbuhan Mikroalga

- Spirulina Plantesis* Pada Media Kultur. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*. Vol 6. No 1.
- Candra Y., Pratamaningtyas S & Nugroho Y. 2019. Fitoremediasi Merkuri dari Tanah Tercemar Limbah Beas Tambang Emas Rakyat dengan Rumput Teki (*Cyprus Kyllingin*). *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian "AGRIKA"*. Vol 13. No 01.
- Cakrawala. 2005. *Bioindikator pencemaran bahan kimia*. Diakses tanggal 07 november 2019.
- Cempaka, Santoso & Tanuwijaya. 2014. Pengaruh Metode Pengolahan (*Juicing* Dan *Blending*) Terhadap Kandungan Quercetin Berbagai Varietas Apel Local Dan Impor (*Malus Domestica*). *Indonesian Journal Of Human Nutrition*. Vol 01. No 01.
- Cechinel, M.A.P., Geulli, S.M.A & Ulson, A.A. 2013. Study Of Lead (II) Adsorbtion Onto Activated Carbon Originating Form Cow Bone. *Journal Of Cleaner Production*. Universi Dade Federal de Santa Catarina. Brasil.
- Chang, Raymond. 2004. *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Crist, R.H., Shank., Oberholser & Nguyen. 1981. Nature Of Bonding Between Metallic Ions and Alga Cell Walls. *Environmental Science And Technology*.
- Damell, J., Lodish & Baltimore. 1986. *Molecular Cell Biology, Scientific American Books*. New York : W H Freeman.
- Darmono 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI Press.
- Darmono. 2001. *Langkungan Hidup Dan Pencemaran, Hubungan Dengan Toksiologi Senyawa Logam*. Jakarta: UI Press
- Day dan Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Dewi, D. C., Fauziyah, B., Suryadinata, A., Annisa, D & Afifah, N. 2013. Optimasi Metode Penelitian Kadar Logam Tembaga dan Timbal dalam Gula Pasir Secara Spektrofotometri Serapan Atom dengan Destruksi *Microwave Digestion*. *ALCHEMY*. Vol 02. No 02.
- Dewi, E.R. 2015. Respon Penurunan Konsentrasi Logam Berat Kromium (Cr) Dan Pertumbuhan *Chlorella Vulgaris* Pada Media Kultur. *Seminar Nasional Konservasi Dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*.

- Dewi, E.R. 2020 *Bioremediasi: Mikroorganisme Sebagai Fungsi Bioremediasi Pada Perairan Tercemar*. Semarang: UNIVERSITAS PGRI Semarang Press.
- Dewi, E.R & Nuravivah, R., 2018. Potential Of Microalga *Chlorella Vulgaris* As Bioremediation Agents Of Heavy Metal Pb (Lead) On Culture Media. *ICENIS*. 31. 05010.
- Dewi Yani Santya & Gultom Yosar Hanafi. 2009. Pemanfaatan Algae *Chlorella sp* Dan Eceng Gondok Untuk Menurunkan Tembaga (Cu) Pada Industri Pelapisan Logam. *Seminar Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Kimia UNDIP*.
- Djide M. N., Dkk. 2011. Studi Pemanfaatan Fitoplankton (*Chlorella sp*) Dalam Mengurangi Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) Di Laut. *Dep. Teknik Lingkungan UNHAS*.
- Ernst, W.H.O., 1998. *Effects Of Heavy Metals In Plants At The Cellular And Organismic Level*. Heidelberg: Jhon Wiley & Sons
- Gunawan, L., Setiani, O., & Suhartono, S. 2013. Hubungan Kadar Timah Hitam Dalam Darah Dengan Jumlah Lekosit, Trombosit Dan Aktifitas Superoxide Dismutase (SOD) Pada Pekerja Timah Hitam Di Kabupaten Tegal. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. No 12. Vol 02.
- Gobbas, F.A.P.C and zhang, . 1992. Measuring Bioconcentration Factors And Rate Constants Of Chemical In Aquatic Organisme Under Conditions Of Variable Water Concentrations And Short Exposure Time. *Chemosphere*. 25: 1961-1971.
- Gratao, Alves & Lima. 2019. Heavy Metal Toxicity And Plant Productivity: Role Of Metal Scavengers. *ResearchGate* . Plant-Metal Interaction.
- Hadiyanto. 2013. Valorisasi Mikroalga Untuk Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dan Sebagai Sumber Energi dan Pangan Alternative. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*. ISSN: 1411-4216.
- Hamzah, A & Priyadarsini, R. 2019. *Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat*. Malang: UNITRI Press.
- Harinaldi, M.Eng. 2005. *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*. Jakarta : Erlangga.
- Haryati Maharani., Purnomo Tarzan & Kuntjoro Sunu. 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava (L) Buch.*) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda. *Lenterabio*. Vol 1. No 3.

- Hassan, N.A & Al-Kubaisi, A.A. 2016. Phytoremediation Of Lead By Hydrilla Verticillata Lab. Work. *International Journal Of Current Microbiology And Applied Sciences*. Vol 05. No 06.
- Hidayah A., Purwanto & Soeprbowati T. 2014. Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Pb, Cd dan Cu Pada Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus Linn.*) di Karamba Danau Rawa Pening. *BIOMA*. Vol 16. No 01.
- Huang Chie-Chen, Dkk. 2006. Expression Of Mercuric Reductase From Bacillus Megaterium MB1 In Eukaryotic Microalga Chlorella Sp. DT: An Approach For Mercury Phytoremediation. *Appl Microbial Biotechnol*. 72: 197-205
- Hutagalung, H.P dan Sutomo. 1996. Kandungan Pb, Cd, Cu dan Zn dalam Air, Sedimen dan Kerang Darah di Perairan Teluk Banten, Jawa Barat. *P3O-LIPI*. Jakarta.
- Imelda, S., Claudia, C., Lambui, O., dan Surwastika, N. 2018. Kultivasi Mikroalga Isolat Lokal Pada Medim Ekstrak Tauge . *Natural Science*. Vol 7. No 2. 148-157.
- Irhanni, Pandia, S., Purba, E Dan Hasan , W. 2017. Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air Dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*. Vol 1. No 2.
- Irwanto Rony. 2010. Fitoremediasi Lingkungan Dalam Taman Bali. *Local Wisdom-Jurnal Ilmiah Online*. Vol II. No 4.
- Isnansetyo, A Dan Kurniastuty. 1995. *Teknik Kultur Fitoplankton Dan Zooplankton Pakan Alami Untuk Pembenihan Organisme Laut*. Yogyakarta : Kanisius.
- Istighfarini, S.A., Daud, S & Edward. 2017. Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Sabut Kelapa Terhadap Efisiensi Penyisihan Fe pada Air Gambut. *Jom FTEKNIK*. Vol 4. No 1.
- Jaswiyah, Syaifudin dan Novianti, I. 2016. Fitoremediasi Logam Kadmium Pada Asap Rokok Menggunakan Tanaman Lidah Mertua Jenis *Sansevieria haycinthoides* Dan *Sanseveiria trifasciata*. *Jurnal UNPAD*. Vol 1. No 1.
- Kimball, J.W. 1998. *Biologi, Edisi Kelima. Jilid I*. Erlangga : Jakarta.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik Edisi Kedua*. Jakarta: UI Press.
- Kumar, H.D & Singh, H. N, A. 1976. *Text Book Of Algae , Second Edition*, New Delhi : Affiliated East West PUT ltd.

- Kurniawan, A. 2006. Studi Kemampuan Penyerapan Unsur Hara (N Dan P) Oleh *Gracilaria Sp.* Dalam Skala Laboratorium. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. *Skripsi*. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor.
- Kurniawan, J.I & Aunurohim. 2014. Biosorpsi Logam Zn^{2+} dan Pb^{2+} Oleh Mikroalga *Chlorella sp.* *JURNAL SAINS DAN SENI POMITS*. Vol 03. No 01.
- Krismawati, R & Ahdia, R., 2013. Pengolahan Efuen Pond Fakultatif Anaerobic IPAL Industry Kelapa Sawit Secara Fakultatif Anaerobic-Fotoremediasi Sebagai Pre-Treatmen Media Tumbuh Algae. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*. Vol 2. No 2.
- Kristianingrum, S. 2016. Spektroskopi Infra Merah. *Handout E-Book*.
- Maharsyah, T., Lutfi, M., dan Nugraha, W.A. 2013. Efektivitas Penambahan *Plant Growth Promoting Bacteria (Azospirillum Sp)* dalam Meningkatkan Pertumbuhan Mikroalga (*Chlorelaa Sp*) pada Media Limbah Cair Tahu Setelah Proses Anaerob. *Jurnal Keteknikan Pertanian Dan Biosistem*. Vol 1. No 3. 258-264
- Makkasau Andi., dkk. 2011. Teknik Fitoremediasi Fitoplankton Suatu Alternative Pemulihan Lingkungan Laut Yang Tercemar Logam Cd^{2+} Dan Cr^{6+} . *Pendidikan Guru Sekolah Dasar*. Vol 7. No 2.
- Maraghi, A & Musthafa, A. 1974. *Tafsir al-Maraghi, Juz I*. Mesir : Musthafa al-Babi al-Halabi.
- Martins, B.L., Cruz, C.V., Luna, A.S., and Henriques, C.A. 2006. A Sorption And Desorption Of Pb^{2+} Ions By Dead *Sargassum sp.* Biomass. *Biochemical Engineering Journal*. Vol 27. No 3. 310-314.
- Masnesia A. 2017. Pengolahan Limbah Batik Dengan Menggunakan Metode Resipitasi Dan Fitoremediasi. *Jurnal Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata I Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik*.
- Mason, l. h., harp, j. p., & han, d. y. 2014. Pb neurotoxicity: neuropsychological effects of lead toxicity. *BioMed research international*.
- Matusiewicz, H. 2003. *Wet Digestion Methods. Comprehensive Analytical Lidges, Soils, And Oils*. Environmental Protections Agency U.S.A.
- Mulyanto, dkk. 1993. Monitoring Pencemaran Logam Berat Raksa (Hg), Cadmium (Cd) Dan Timbal (Pb) Diperairan Pantai Utara Jawa Timur. *Laporan P4M No. 129/P4M/DPPML/L-331/PSL/1992*. PSLH Malang : UB.

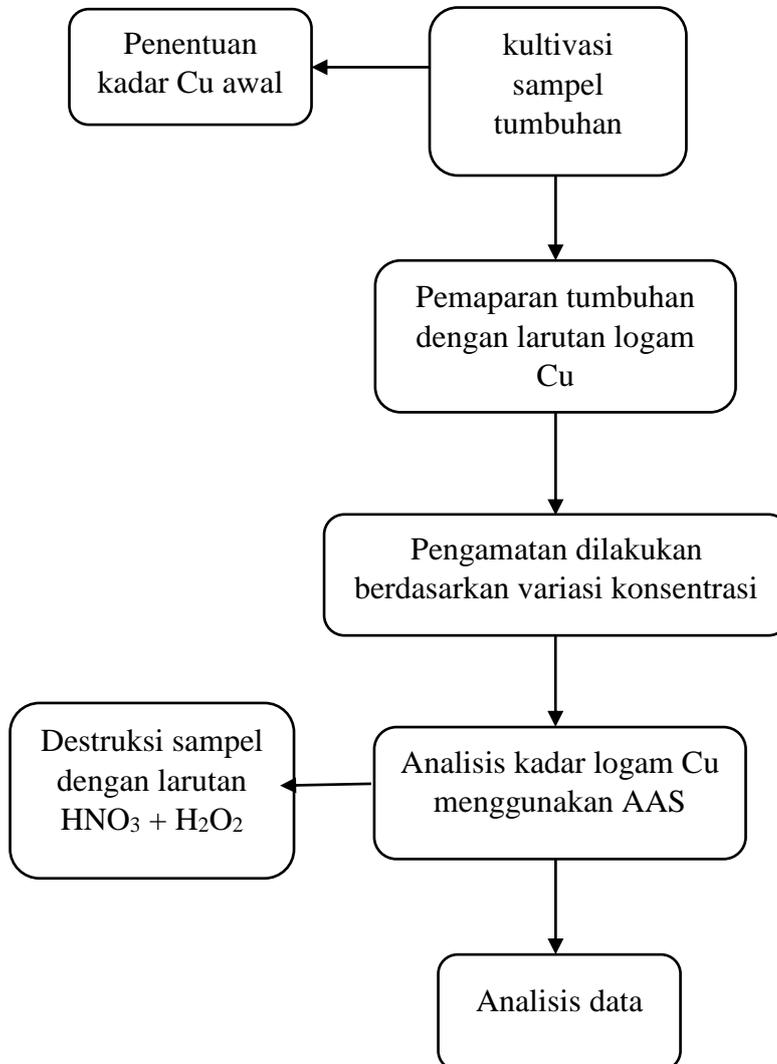
- Mulyono. 2012. *Kamus Kimia*. Jakarta: PT. Bumi Aksara
- Musa, Raya & Dali. 2013. Pengaruh Penambahan Ion Cu^{2+} Terhadap Laju Pertumbuhan Fitoplankton *Chlorella Vulgaris*. *Jurnal Jurusan Kimia, FMIPA*.
- Mustakim. 2017. Pendidikan Lingkungan Hidup Dan Implementasinya Dalam Pendidikan Islam. *Journal Of Islamic Education*. Vol 2. No 1.
- Novita, Eviza, Husni & Putri. 2017. Analisis Organoleptik Formula Minuman Kahwa Daun Mix. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*. Vol 21. No 01.
- Nur F. 2013. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *ISSN 2302-1616, 1(1)*.
- Nurhidayati. 2009. *Pemanfaatan Karbon Aktif Pasar Kayu Sengon Sebagai Adsorben Logam Berat Cu pada Limbah Simulasi Cu*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Nurmandali, Fahyuddin, Tahid & A. Mujahid. 2003. Penetapan Raksa dalam Tepung Ikan Secara Spektrometri Absorpsi Atom Uap Dingin. *Jurnal Bionatura*. Vol 05. No 02.
- Palar, H, Drs. 1994. *Pencemaran Dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Prihantini, Putri & Yuniati. 2005. Pertumbuhan *Chlorella Sp* Dalam Medium Ekstrak Tauge (MET) Dengan Variasi pH Awal. *MAKARA, SAINS*. Vol 09. No 01.
- Purnamawati F.S; soeprobowati T.R dan Izzati M. 2015. Potensi *Chlorella Vulgaris* Beijerinck Dalam Remediasi Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratorium. *BOIMA*. Vol 16. No. 2
- Puspawati, N.M., simpen, I.N & Miwada, I.N. 2012. Isolasi Gelatin Dari Kulit Kaki Ayam Broiler Dan Karakterisasi Gugus Fungsinya Dengan Spektrofotometer FTIR. *Jurnal Kimia*. Vol 6. No 1.
- Putra M. S., Syekhfani & Kusumarini N. 2018. Ekstraksi Merkuri dari Limbah Pengolahan Biji Emas Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides L.*) dengan Penambahan EDTA dan Kompos. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*. Vol 05. No 02.
- Putra R.S., Cahyana F., Dan Novarita D. 2015. Removal Of Lead Copper From Contaminated Water Using EAPR System And Uptake By Water Lettuce (*Pistia Stratiotes L.*). *Predical Chemistry*, 14, 381-386. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.052>.

- Raimon. 1993. Perbandingan Metode Destruksi Basah Dan Kering Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Lokakarya Nasional Jaringan Kerjasama Kimia Analitik Indonesia*. Yogyakarta.
- Rahimah, Z., Heldawati, H & Syauqiah, I. 2016. Pengolahan Limbah Detergen Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Kapur Dan PAC. *Konversi*. Vol 05. No 02.
- Ratnawati, E., Ermawati, R dan Naimah, s. 2010. Teknologi Biosorpsi Oleh Mikroorganisme, Solusi Alternatif Untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*. Vol 32. No 1. 34-40.
- Reynolds, T.D & Paul, A.R. 1996. *Unit Opration and Process In Environmental Engineering, 2 nd Edition*. Boston : PW Publishing Company
- Richmon, A.E., 1986. *Critical Review In Biotechnology*. CFC.
- Richmond, A.E., 2006. *Microalga Culture*. Tokyo: CRC Press.
- Romimohtorto, K. 2004. *Meroplankton Laut: Larva Hewan Laut Yang Menjadi Plankton*. Jakarta : Djambatan.
- Rosita,N. 2016. Fabrikasi Komposit Karbon Berpori Lightweight Expanded Carbon Aggregate (LECA) Dari Limbah Daun Sebagai Media Tanam Hidroponik. *Skripsi*.
- Sabila,N., Dewi, I.P., Aini, L.N & Santoso, D. 2013. Kultur Tunas Scoparia Dulcis, Lindernia Anagalis, Lindernia Ciliate Dan Upaya Bioremediasi Terhadap Logam Berat Pb, Cr, Cd. *Traditional Medicine Journal*. Vol 18. No 01.
- Safrianti. I., Wahyuni. N & Zaharah. T.A. 2012. Adsorpsi Timbal (III) Oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat: Pengaruh pH dan Waktu Kontak. *JKK*. Vol 01. No 01.
- Sanjaya & Bhandesa. 2019. Studi Eksplorasi Pengobatan Pada Usada Pemunah Cetik Kerikan Gangsa. *Jurnal Penelitian Agama Hindu*. Vol 03. No 02.
- Sarwoko M dan Samudro G. 2006. Fitoteknologi Terapan. *Computers & Education*. <https://doi.org/10.1145/2505515.2507827>.
- Sasongko, E.W., Bairid, A.D & Priyono. 2014. Kajian Kualitas Air dan Penggunaan Sumur Gali oleh Masyarakat di Sekitar Sungai Kaliyasa Kabupaten Cilacap. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol 12. No 02.

- Shah A.I., 2017. Heavy Metal Impact On Aquatic Life And Human Healthy An Over View. *IAIA17 Conference Proceedings*. 4-7 April.
- Simatupang D; Restuhadi F dan Dahril T. 2017. Pemanfaatan Simbiois Mikroalga *Chlorella sp* Dan EM4 Untuk Menurunkan Kadar Polutan Limbah Cair Sagu. *Jom FAPERTA*. Vol 4. No 1.
- Simbolon, A.M. 2020. *Sustainable Industry: Teknologi Pencegahan Pencemaran Industry*. Yogyakarta: ANDI
- Socrates, G. 1994. *Infrared Characteristic Group Frequencies Tables And Charts Second Edition*. New York: John Wiley And Sons.
- Steenblock, D. 2000. *Chlorella Makanan Sehat Alami*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Subroto, M.A. 1996. Fitoremediasi. *Prosiding Pelatihan Lokakarya Peranan Bioremediasi Dalam Pengolahan Lingkungan*, Cibinong.
- Sudiro. 2013. Kajian Efektifitas Tumbuhan Air Lemna Minor Dan Hydrilla Verticillata Dalam Mereduksi BOD Dan COD Sebagai Upaya Perbaikan Kualitas Limbah Cair Industry Tahu. *Spectra*. Vol 21. No 09.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Microorganism: Suatu Kajian Kepustakaan. *Synergy Forum – PPI Tokyo Institute Of Technology*.
- Sumanda, K. 2006. Kajian Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Elektropleting yang Efisien. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol 01. No 01.
- Sumardi. 1981. Metode Destruksi Contoh Secara Kering Dalam Analisa Unsur-Unsur Fe-Cu-Mn Dan Zn Dalam Contoh-Contoh Biologis. *Prosiding Seminar Nasional Metode Analisis Lembaga Kimia Nasional*. Jakarta: LIPI.
- Supranto Jhon. 1983. *Statistika Teori dan Aplikasi*. Jakarta : Erlangga.
- Suryani, A., Nirmala, K dan Djokosetyanto, D. 2018. Akumulasi Logam Berat (Timbal Dan Tembaga) Pada Air, Sedimen Dan Ikan Bandeng (*Chanos Chanos Forsskal, 1775*) Di Pertambakan Ikan Bandeng Dukuh Tapak, Kelurahan Tugurejo, Kota Semarang. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*. Vol 8. No 3. 271-278.
- Sutardjo, S.W., Wildan, A & Handyana Putri. 2016. Pengolahan Limbah Organik Menggunakan Kombinasi Fotokatalis Tio₂ dan Senyawa *Ethylene Diamine Tetra Acetic* (EDTA). *RAKERNAS AIPKEMA*. Vol 11. No 02.

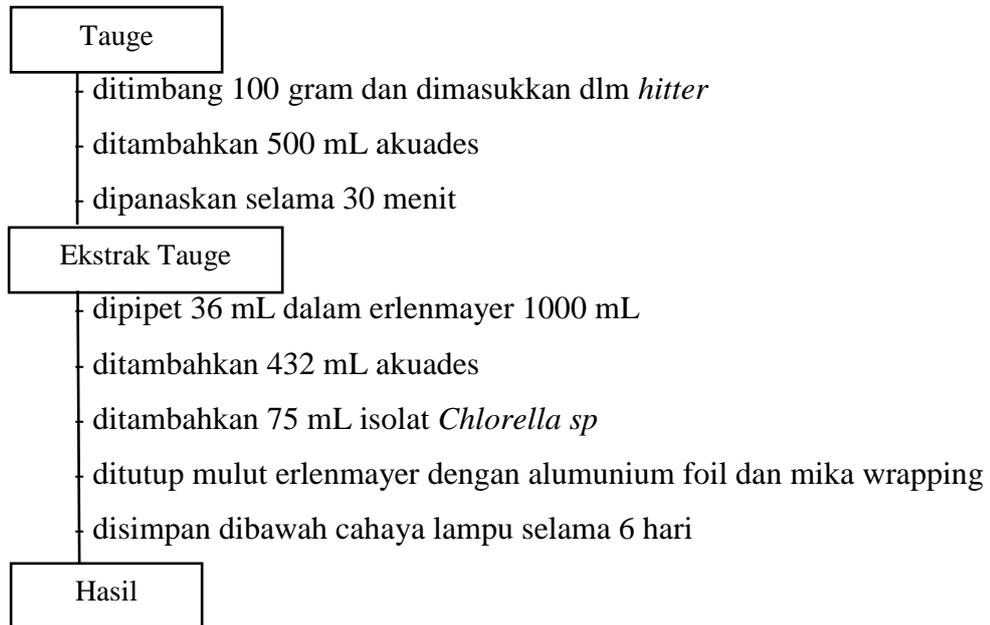
- Syahputra R. 2014. *Modul Pelatihan Instrument AAS*. Yogyakarta: UI Press.
- Tanase, A., Vamanu, A., Niculae, C., and Patroescu, C. 2004. Optimazed Microwave Digestion Method For Iron And Zinc Determination By Flame Absorbtion Spectrometry In Fodder Yeasts Obtained From Paraffin, Methanol And Ethanol. *Chimie, Anul XIII*. Vol 1. No 2. 117-124.
- Tetelepta, L.D. 2011. Pertumbuhan Kultur *Chlorella spp* Skala Laboratorium Pada Beberapa Tingkat Kepadatan Inokulum. *Prosiding Seminar Nasional*.
- Ting, Y.P., Laawson & Prince. 1990. The Uptake Of Heavy Metal Ions By Alga. *Australian Journal Of Biotechnology*. 4 (3).
- Urifah, D., Kusriani, Zakiyah, U., Handaru, B.C., Rieke, Y. 2017. Adsorbsi Logam Timbal (Pb) Oleh Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla Verticillata*). *Jurnal Riset Teknologi Industri*. Vol 11. No 02.
- Wang H., Zhang H., dan Cai G. 2011. An Application Of Phytoremediation To River Pollution Remediation. *Procedia Environmental Sciences*, 10(PART C), 1904-1907. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.298>.
- Walas, S.M. 1990. *Chemicalprocess Equipment*. Newton : butterworth – Heinemann.
- Walpole, Ronald. E, Raymond H Meyrs. 1995. *Ilmu Peluang Dan Statistika Untuk Insinyur & Ilmuwan Edisi ke-4*. Bandung : ITB Perss.
- Wani, a. l., ara, a., & usmani, j. a. 2015. Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary roxicology*, 8(2).
- Wide, E.W., & Benemann, J.R. 1993. Bioremoval Of Heavy Metals By The Use Of Microalgae. *Biotechnol Adv*. 11 (4).
- Wetipo, Y.S., Mangimbulude, J.C., Dan Rondonuwu, F.S. 2013. Potensi Chlorella Sp Sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat Di Air. *Jurnal UNS*. Pps Magister Biology.
- Widiyani, P & Dewi, E.R.S. 2014. Penurunan Konsentrasi Logam Berat Cadmium (Cd) Dan Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* Pada Media Kultur. *Bioma*. Vol 03. No 02.
- Wulandari, A.P., Frida N., Annisa E.P., dan Dilaekha R.P.. 2010. Identifikasi Mikroalgae di Sekitar Pantai Pangandaran dan Potensi Pertumbuhannya pada Formulasi Medium Ekstrak Tauge (MET). *Prosiding Seminar Nasional Limnologi*, V.

- Wulandari, E.A. dan Sukesi. 2013. Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb, Cd Dan Cu Dalam Nugget Ayam Rumput Laut Merah (*Eucheuma cottonii*). *Jurnal Sains dan Seni POMITS*. Vol 2. No 2. 2337-3520.
- Yawar, W., Naeem, K., Akhter, P., Rehana, I dan Saeed, M. 2010. Assessment Of The Digestion Procedures For Zn Contents In Pakistani Soil By Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Journal Of Saudi Chemical Society*. No 14. 125-129.
- Zamani, N.P & Muhaemin, M. 2016. Penggunaan Spektrofotometer Sebagai Pendeteksi Kepadatan Sel Mikroalga Laut. *MASPARI JOURNAL*. Vol 08. No 01.
- Zarinkamar, F., Saderi, Z & Soleimanpour, S. 2013. Excluder Strategies In Response to Pb Toxicity In *Matricaria Chamomilla*. *Environment and Ecology Research*. No 1. Vol 1. 1-11.
- Zayadan, B.K., Sadvakasova, M.M., Hassan, A.Z., dan Beisenova. 2013. Bioremediation Of Heavy Metal Contaminated Water By Microalgae. *International Journal Of Biology And Chemistry*. 5. Nel 3

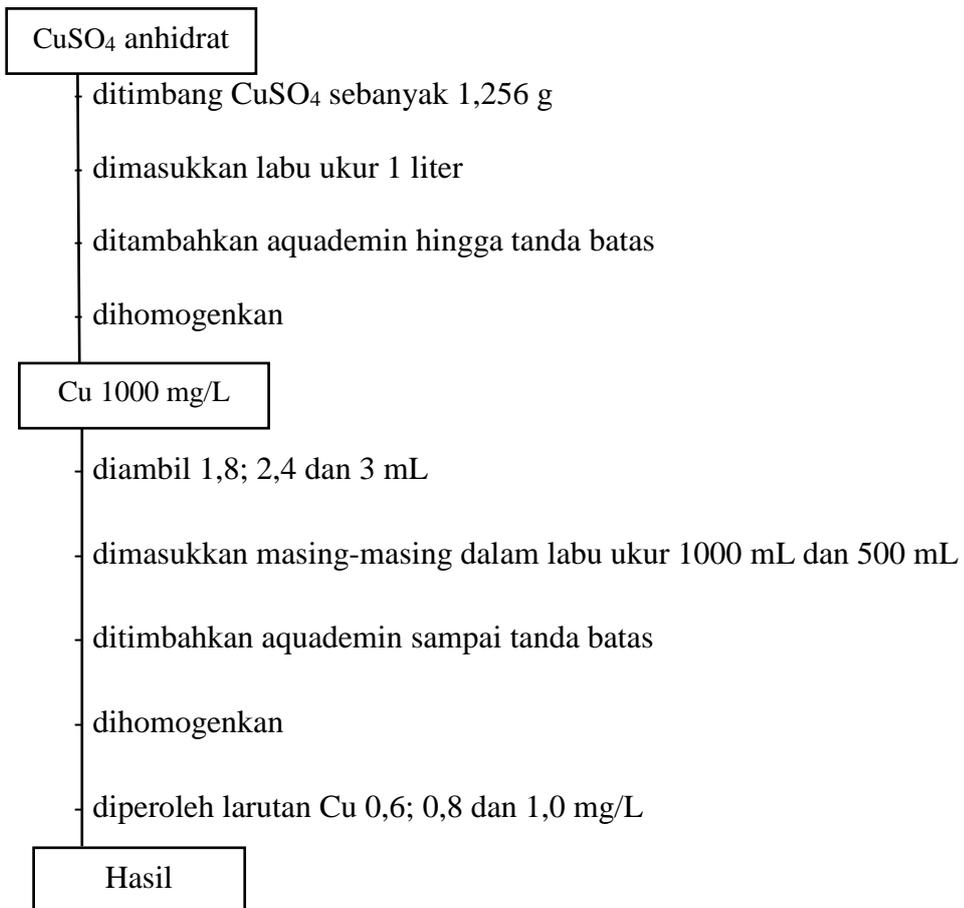
LAMPIRAN**Lampiran 1. Rencana penelitian**

Lampiran 2. Diagram alir

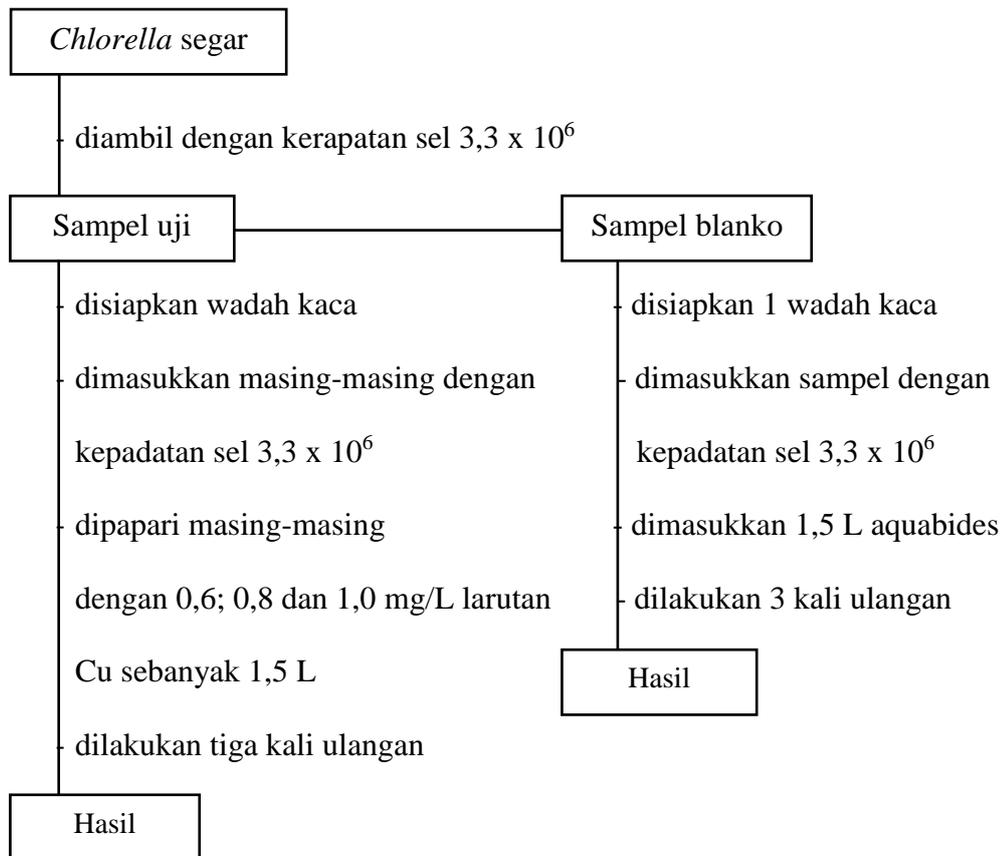
1. Kultivasi sampel



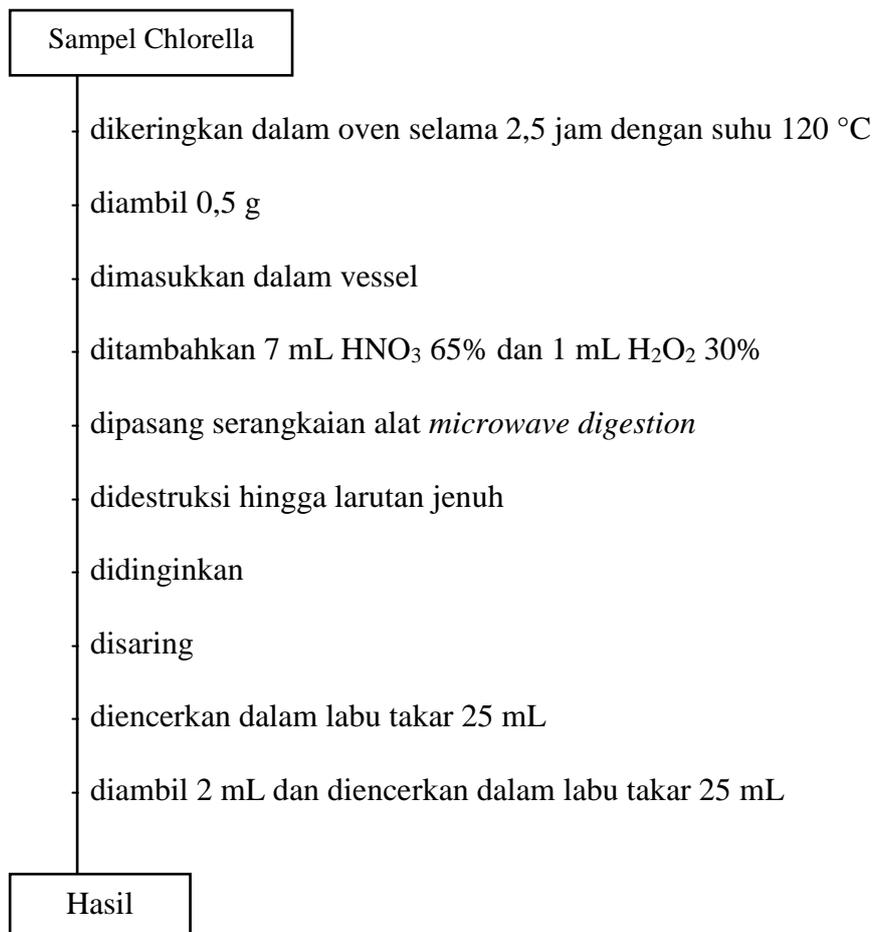
2. Preparasi larutan Cu untuk pemaparan



3. Pemaparan sampel

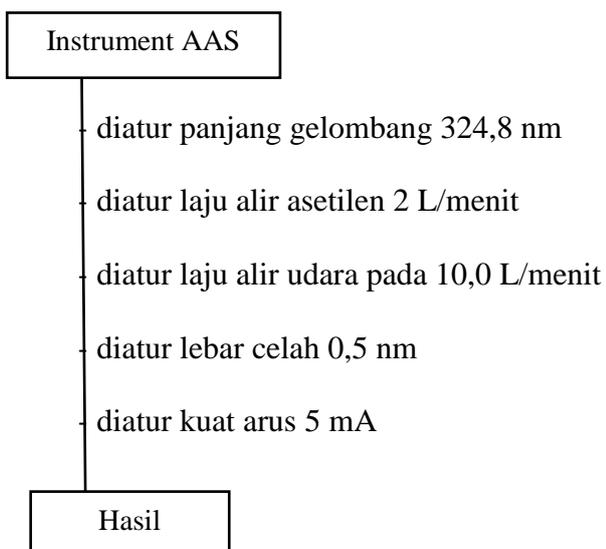


4. Destruksi sampel

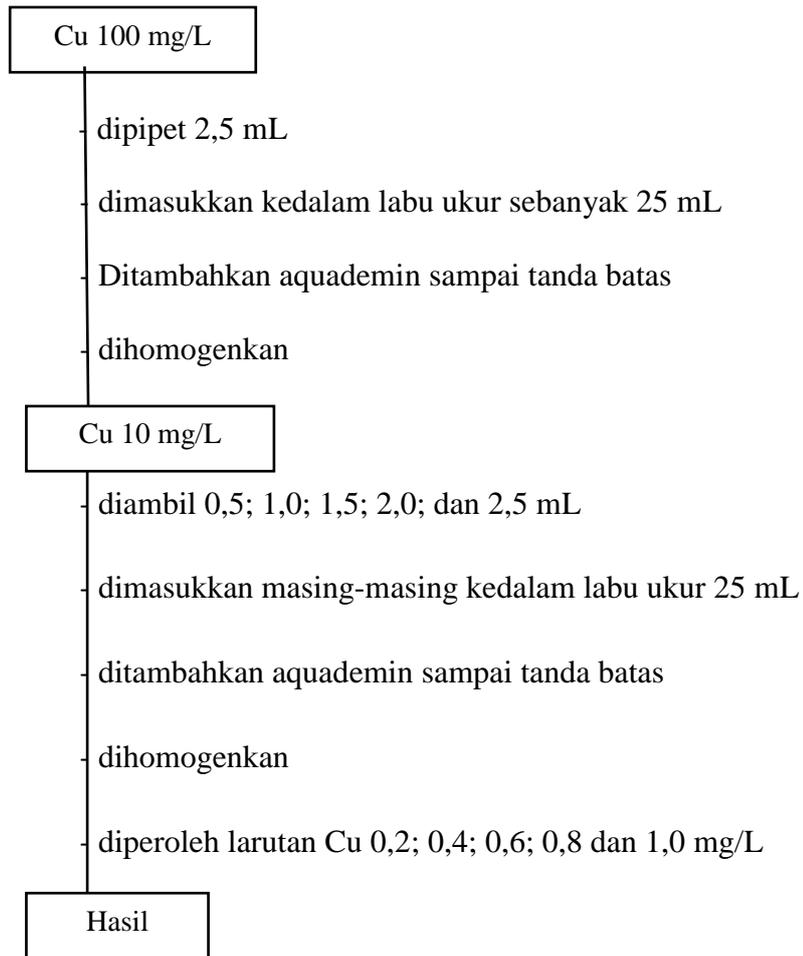


5. Analisis sampel dengan AAS

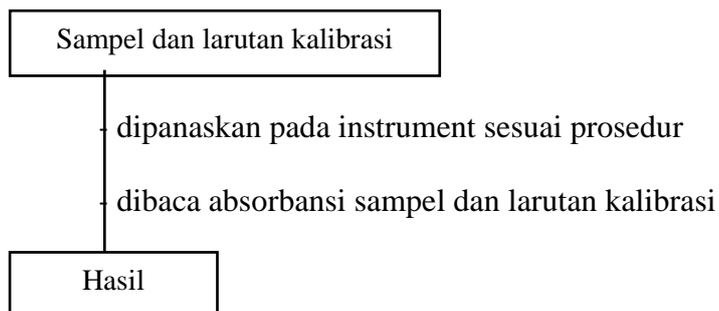
a. Pengaturan instrument



b. Pembuatan larutan kalibrasi standart



c. Pengukuran absorbansi



Lampiran 3. Perhitungan Pembuatan Reagen

1. Pembuatan kurva standart tembaga (Cu)

- a. Pembuatan larutan 100 mg/L dari 1000 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 100 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

Maka larutan Cu 100 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 5 mL larutan stok Cu 1000 mg/L setelah itu ditanda bataskan dengan HNO₃ 0,5 M hingga 50 mL.

- b. Pembuatan standart 1 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 1 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

Maka larutan Cu 1 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 0,5 mL larutan stok Cu 100 mg/L setelah itu dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

- c. Pembuatan larutan standart 2 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 2 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 1,0 \text{ mL}$$

Maka larutan Cu 2 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 1,0 mL larutan stok Cu 100 mg/L setelah itu dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

- d. Pembuatan larutan standart 3 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 3 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{3 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 1,5 \text{ mL}$$

Maka larutan Cu 3 mg/L dapat dibuat dengan dipipet 1,5 mL larutan stok Cu 100 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

- e. Pembuatan larutan standart 4 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 4 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{4 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 2,0 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 4 mg/L dibuat dengan dipipet 2,0 mL larutan Cu stok 100 mg/L kemudian dilarutkan dalam 50 mL aquademin.

- f. Pembuata larutan standart 5 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 5 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{5 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 5 mg/L dibuat dengan dipipet 2,5 mL larutan stock 100 mg/L kemudian dilarutkan dalma 50 mL aquademin.

2. Pembuatan larutan Cu untuk pemaparan

- a. Pembuatan larutan Cu 500 mg/L

Larutan stok Cu 500 mg/L dibuat dengan melarutkan 1,256 g CuSO_4 anhidrat kedalam 10 00 aquademin.

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{CuSO}_4 \text{ anhidrat dibutuhkan} &= \frac{BM \text{ CuSO}_4 \text{ anhidrat}}{BA \text{ Cu}} \times 500 \text{ mg} \\ &= \frac{159,62 \text{ g/mol}}{63,5 \text{ g/mol}} \times 500 \text{ mg} \\ &= 1256 \text{ mg} \\ &= 1,256 \text{ g} \end{aligned}$$

- b. Pembuatan larutan Cu 0,6 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,6 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,6 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}}{500 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 1,8 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 0,6 mg/L dibuat dengan dipipet 1,8 mL larutan stok 500 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1500 mL aquademin.

- c. Pembuatan larutan Cu 0,8 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,8 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,8 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}}{500 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 2,4 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 0,8 mg/L dibuat dengan dipipet 2,4 mL larutan stok 500 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1500 mL aquademin.

- d. Pembuatan larutan Cu 1,0 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$500 \text{ mg/L} \times V_1 = 1,0 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1,0 \text{ mg/L} \times 1500 \text{ mL}}{500 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

Sehingga larutan Cu 1,0 mg/L dibuat dengan dipipet 3 mL larutan stok 500 mg/L kemudian dilarutkan dalam 1500 mL aquademin.

3. Pembuatan larutan HNO₃ 0,5 M

Diketahui : Berat jeni HNO₃ 65% = 1,39 g/cm³
= 1390 g/L

$$\text{Mr HNO} = 63 \text{ g/mol}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ 65\%} = \frac{65 \text{ g HNO}_3}{100 \text{ g larutan}}$$

$$\frac{1390 \text{ g}}{1 \text{ L}} = \frac{100 \text{ g}}{V}$$

$$V = 0,0719 \text{ L}$$

$$n \text{ HNO}_3 = \frac{65 \text{ g}}{63 \text{ g/mol}}$$

$$n \text{ HNO}_3 = 1,0318 \text{ mol}$$

$$M \text{ HNO}_3 = \frac{1,0318 \text{ mol}}{0,0719 \text{ L}}$$

$$M \text{ HNO}_3 = 14,3505 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$14,3505 \text{ M} \times V_1 = 0,2 \text{ M} \times 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,2 \text{ M} \times 500 \text{ mL}}{14,3505 \text{ M}}$$

$$V_1 = 17,42 \text{ mL}$$

Sehingga larutan HNO₃ 0,5 M dibuat dengan dipipet 17,42 mL HNO₃ 65% kemudian dilarutkan dalam 500 mL aquades.

4. Konsentrasi Tembaga pada Air

Perhitungan konsentrasi tembaga pada media pemaparan adalah sebagai berikut:

Persamaan regresi linier : $Abs = 0,2093 \times C - 0,0003$

$$0,0200 = 0,2093 \times C - 0,0003$$

$$0,0200 C = 0,0969 + 0,0003$$

$$0,0200 C = 0,0972$$

$$C = \frac{0,0972}{0,0200}$$

$$C = 0,09676$$

Dengan cara perhitungan dan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan konsentrasi pada tabel L3.1

Tabel L3.1 Hasil perhitungan konsentrasi tembaga pada air

Variasi konsentrasi (ppm)	Ulangan	Konsentrasi dalam air (ppm)	Konsentrasi logam yang terserap (ppm)	Rata-rata
0,6	1	0,4754	0,1246	0,0993
	2	0,5260	0,0739	
0,8	1	0,3645	0,4354	0,4074
	2	0,4204	0,3795	
1,0	1	0,48834	0,5116	0,5465
	2	0,4261	0,5737	

5. Konsentrasi Tembaga pada Tumbuhan

Perhitungan konsentrasi tembaga pada sampel *Chlorella* sp adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 [\text{Cu}] \text{ mg/Kg} &= \frac{[\text{Cu Instrumen}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times V \text{ destruksi (L)}}{\text{Berat kering sampel (Kg)}} \\
 &= \frac{0,3562 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,008 \text{ L} \times 50}{1,121 \times 10^{-4}}
 \end{aligned}$$

$$= 1271,01 \text{ mg/Kg BK}$$

Dengan rumus yang sama diperoleh hasil perhitungan tembaga pada sampel *Chlorella sp* pada Table L3.2.

Tabel L3.2 Hasil Perhitungan konsentrasi tembaga pada sampel

Variasi konsentrasi (ppm)	Konsentrasi Cu instrument (ppm)	Konsentrasi Cu (mg/Kg BK)
0,6	0,3562	1271,01
	0,6089	1246,46
0,8	0,7399	1306,67
	0,7508	1538,52
1,0	0,9721	2242,45
	0,6233	1287,81

6. Persen logam tembaga teremediasi

Perhitungan logam tembaga yang teremediasi oleh *Chlorella sp* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Teremediasi} &= \frac{[Cu]_{awal} \left(\frac{mg}{L}\right) - [Cu]_{sisa \text{ pada air}} \left(\frac{mg}{L}\right)}{[Cu]_{awal} \left(\frac{mg}{L}\right)} \times 100\% \\ &= \frac{0,6 \left(\frac{mg}{L}\right) - 0,4754 \left(\frac{mg}{L}\right)}{0,6 \left(\frac{mg}{L}\right)} \\ &= 20,70 \% \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama maka diperoleh hasil perhitungan logam teremediasi pada *Chlorella sp* pada Tabel L3.3

Tabel L3.3 Hasil perhitungan persentase logam teremediasi

Variasi konsentrasi Cu (ppm)	Persen logam teremediasi (%)		Rata-rata (%)
	I	II	
0,6	20,76	12,32	16,54
0,8	54,42	47,44	50,92
1,0	51,16	57,37	54,26

7. Nilai Bioconcentration Factor (BCF)

Perhitungan nilai BCF pada *Chlorella sp* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BCF} &= \frac{[\text{Cu}]_{\text{tumbuhan}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{[\text{Cu}]_{\text{awal pada air}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} \\ &= \frac{1271,01 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)}{230,77 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} \\ &= 5,51 \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama maka diperoleh hasil perhitungan nilai BCF pada Tabel

L3.4

Tabel L3.4 Hasil perhitungan nilai BCF

Variasi konsentrasi Cu (ppm)	Cu tumbuhan (mg/Kg)		Nilai BCF		Rata-rata
	I	II	I	II	
0,6	1271,01	1246,46	5,51	5,40	5,45
0,8	1306,67	1538,52	4,25	5,00	4,62
1,0	2242,45	1287,81	5,83	3,35	4,59

Lampiran 4. Data hasil uji statistika

Descriptives

Absorbansi logam Cu

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					0,0 ppm	2		
0,6 ppm	2	.099150	.0359917	.0254500	-.224223	.422523	.0737	.1246
0,8 ppm	2	.407450	.0395273	.0279500	.052312	.762588	.3795	.4354
1,0 ppm	2	.542650	.0439113	.0310500	.148122	.937178	.5116	.5737
Total	8	.286488	.2095974	.0741039	.111260	.461715	.0737	.5737

ANOVA

Absorbansi logam Cu

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.303	3	.101	84.338	.000
Within Groups	.005	4	.001		
Total	.308	7			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: absorbansi

	(I) konsentrasi	(J) konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
						Tukey HSD	0,0 ppm
		0,8 ppm	-.3107500*	.0345905	.003	-.451563	-.169937
		1,0 ppm	-.4459500*	.0345905	.001	-.586763	-.305137
	0,6 ppm	0,0 ppm	.0024500	.0345905	1.000	-.138363	.143263
		0,8 ppm	-.3083000*	.0345905	.003	-.449113	-.167487
		1,0 ppm	-.4435000*	.0345905	.001	-.584313	-.302687
	0,8 ppm	0,0 ppm	.3107500*	.0345905	.003	.169937	.451563
		0,6 ppm	.3083000*	.0345905	.003	.167487	.449113
		1,0 ppm	-.1352000	.0345905	.057	-.276013	.005613
	1,0 ppm	0,0 ppm	.4459500*	.0345905	.001	.305137	.586763
		0,6 ppm	.4435000*	.0345905	.001	.302687	.584313

		0,8 ppm	.1352000	.0345905	.057	-.005613	.276013
LSD	0,0 ppm	0,6 ppm	-.0024500	.0345905	.947	-.098489	.093589
		0,8 ppm	-.3107500*	.0345905	.001	-.406789	-.214711
		1,0 ppm	-.4459500*	.0345905	.000	-.541989	-.349911
	0,6 ppm	0,0 ppm	.0024500	.0345905	.947	-.093589	.098489
		0,8 ppm	-.3083000*	.0345905	.001	-.404339	-.212261
		1,0 ppm	-.4435000*	.0345905	.000	-.539539	-.347461
	0,8 ppm	0,0 ppm	.3107500*	.0345905	.001	.214711	.406789
		0,6 ppm	.3083000*	.0345905	.001	.212261	.404339
		1,0 ppm	-.1352000*	.0345905	.017	-.231239	-.039161
1,0 ppm	0,0 ppm	.4459500*	.0345905	.000	.349911	.541989	
	0,6 ppm	.4435000*	.0345905	.000	.347461	.539539	
	0,8 ppm	.1352000*	.0345905	.017	.039161	.231239	

Absorbansi

	konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	0,0 ppm	2	.096700	
	0,6 ppm	2	.099150	
	0,8 ppm	2		.407450
	1,0 ppm	2		.542650
	Sig.			1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

Lampiran 5. Risk Assessment

LEMBAR IDENTIFIKASI BAHAYA DAN PENILAIAN RESIKO

KEGIATAN PRAKTIKUM MAHASISWA

JURUSAN KIMIA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG		IDENTIFIKASI BAHAYA DAN PENILAIAN RESIKO			PENELITIAN Jumlah halaman : 4	
JUDUL PENELITIAN : FITOREMEDIASI LOGAM TEMBAGA (Cu) OLEH MIKROALGA <i>Chlorella sp</i> HASIL KULTIVASI MEDIA ESKTRAK TAUGE BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI						
No	Tahapan Kerja Penelitian	Potensi Bahaya	Upaya Pengendalian	Level		Tingkat Bahaya (R x P)
				Resiko ®	Peluang (P)	
1.	Kultivasi sampel	<ul style="list-style-type: none"> Sampel mengalami kontaminasi 	<ul style="list-style-type: none"> Proses kultivasi dilakukan secara steril dengan cara peralatan gelas dimasukkan dalam autoklaf. 	1	1	1
2.	Analisis kadar logam tembaga awal	<ul style="list-style-type: none"> Kontaminasi logam berat Cu saat kontak dengan kulit Pelarut asam nitrat bersifat korosif dan beracun Jika pelarut asam nitrat kontak dengan mata dapat menyebabkan iritasi hingga kebutaan. Kontak kulit akan menyebabkan luka bakar yang sedang hingga serius. Terhriup dapat merusak membran mukosa hingga kematian. Setelah tertelan dapat membakar dengan cepat mulut, tenggorokan dan saluran gastrointestinal. Erlenmeyer mudah pecah 	<ul style="list-style-type: none"> Berhati-hati dalam mengambil larutan dan menggunakan sarung tangan Tutup rapat di dalam tempat yang berventilasi baik dan aman, menggunakan masker, sarung tangan, dan kaca mata laboratorium Kontak dengan kulit: Segera basuh area yang terkena dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Hapus pakaian yang terkontaminasi dan bersihkan dengan sabun. Diperlukan perhatian medis segera. Kontak dengan mata: Segera siram mata dengan banyak air setidaknya selama 15 menit untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, mencari perhatian medis dengan segera. 	3	2	6

			<p>Terhirup: Carilah udara segar dan perhatian medis segera. Tertelan: Jangan memaksakan muntah. Bilas mulut dengan air dan beri segelas air atau susu. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera cari pertolongan medis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lakukan kegiatan di dalam lemari asap • Menggunakan APD lengkap 			
3.	Pembuatan larutan stok tembaga 1000 ppm	<ul style="list-style-type: none"> • Terpapar logam berat Cu saat kontak dengan tubuh • Gas yang timbul dari larutan tembaga sulfat beracun • Jika tembaga sulfat kontak dengan kulit dapat menyebabkan iritasi kemerahan dan rasa sakit. Kontak dengan mata dapat menyebabkan rasa sakit disertai mata kemerahan dan pandangan menjadi kabur. Terhirup dapat menyebabkan batuk dan sakit tenggorokan. Tertelan dapat menyebabkan sakit perut, sensasi terbakar, diare, mual, muntah, dan pingsan. • Pipet mudah pecah 	<ul style="list-style-type: none"> • Tutup rapat di dalam tempat yang berventilasi baik • Menggunakan masker dan sarung tangan • Kontak dengan kulit: cuci dengan air yang banyak dan lepaskan pakaian yang terkontaminasi. Kontak dengan mata: bilas dengan air yang banyak dengan kelopak mata terbuka lebar. Hubungi dokter mata. Terhirup: hirup udara segar, secepatnya hubungi dokter. Tertelan: berikan korban air minum yang banyak • Jangan terlalu banyak menggunakan pipet dan berhati-hati saat menggunakan pipet • Menggunakan APD yang lengkap 	3	2	6
4.	Pemaparan sampel <i>Chlorella sp</i> dengan logam berat Cu	<ul style="list-style-type: none"> • Terpapar logam berat Cu saat kontak dengan tubuh • Gas yang timbul dari larutan tembaga sulfat beracun • Jika tembaga sulfat kontak dengan kulit dapat menyebabkan iritasi kemerahan dan rasa sakit. Kontak dengan mata dapat menyebabkan rasa sakit disertai mata kemerahan dan pandangan menjadi kabur. Terhirup dapat menyebabkan batuk dan sakit tenggorokan. Tertelan dapat menyebabkan sakit perut, sensasi terbakar, diare, mual, muntah, dan pingsan. • Wadah kaca mudah pecah apabila tidak hati-hati dalam menempatkan wadah 	<ul style="list-style-type: none"> • Tutup rapat di dalam tempat yang berventilasi baik • Menggunakan masker dan sarung tangan • Kontak dengan kulit: cuci dengan air yang banyak dan lepaskan pakaian yang terkontaminasi. Kontak dengan mata: bilas dengan air yang banyak dengan kelopak mata terbuka lebar. Hubungi dokter mata. Terhirup: hirup udara segar, secepatnya hubungi dokter. Tertelan: berikan korban air minum yang banyak • Tempatkan wadah kaca jauh dari jangkauan aktifitas yang dapat berpotensi merusak tatanan wadah kaca • Menggunakan APD lengkap 	2	2	6
5.	Destruksi sampel	<ul style="list-style-type: none"> • Cawan penguap menjadi panas dan dapat melukai kulit • Mortar dapat pecah apabila penggerusan dilakukan terlalu keras dan ceroboh • Asam nitrat (HNO_3) bersifat korosif dan beracun. Jika pelarut asam nitrat kontak dengan mata dapat menyebabkan iritasi hingga kebutaan. Kontak kulit akan menyebabkan luka bakar yang sedang hingga serius. Terhirup dapat merusak membran mukosa hingga kematian. Setelah tertelan dapat membakar dengan cepat mulut, tenggorokan dan saluran gastrointestinal. • Hidrogen peroksida (H_2O_2) bersifat korosif dan tidak mudah terbakar. Namun, larutan ini dapat memicu bahan lain untuk terbakar. Beresiko terjadi kebakaran dan ledakan saat kontak dengan panas atau katalis logam. Jika hidrogen peroksida 30% kontak dengan kulit akan menyebabkan korosif, bintik putih pada 	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan sarung tangan dan penjepit saat mengambil cawan dari oven • Penghalusan dilakukan dengan perlahan dan tekanan diatur agar mortar tidak sampai pecah • Tutup rapat di dalam tempat yang berventilasi baik dan aman, menggunakan masker, sarung tangan, dan kaca mata laboratorium. Kontak dengan kulit: Segera basuh area yang terkena dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Hapus pakaian yang terkontaminasi dan bersihkan dengan sabun. Diperlukan perhatian medis segera. Kontak dengan mata: Segera siram mata dengan banyak air setidaknya selama 15 menit untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, mencari perhatian medis dengan segera. Terhirup: Carilah udara segar dan perhatian 			

		<p>bagian yang terkena, berwarna kemerahan, kulit terbakar, dan rasa sakit. Jika kontak dengan mata dapat menyebabkan kerosif, mata kemerahan, rasa sakit, penglihatan kabur, dan luka bakar dalam yang parah. Jika terhirup dapat menyebabkan batuk, sakit tenggorokan, pusing, sakit kepala, mual, dan sesak napas. Jika tertelan dapat menyebabkan sakit tenggorokan, sakit perut, distensi abdomen, mual, dan muntah. Substansi terurai pada pemanasan atau di bawah pengaruh oksigen yang menghasilkan percikan api yang dapat meningkatkan bahaya kebakaran. Zat ini adalah pengoksidasi yang kuat dan bereaksi keras dengan bahan yang mudah terbakar. Menyerang banyak zat organik, misalnya, tekstil dan kertas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alat <i>microwave digestion</i> rusak 	<p>medis segera. Tertelan: Jangan memaksakan muntah. Bilas mulut dengan air dan beri segelas air atau susu. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera cari pertolongan medis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hindarkan dari zat yang mudah terbakar dan pereduksi, makanan, bahan pangan, basa kuat, dan logam. Simpan di tempat yang dingin, gelap, dan berventilasi baik. Simpan jika kondisi larutan stabil. Kontak dengan kulit: : Segera basuh area yang terkena dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Hapus pakaian yang terkontaminasi dan bersihkan dengan sabun. Diperlukan perhatian medis segera. Kontak dengan mata: Segera siram mata dengan banyak air setidaknya selama 15 menit untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, mencari perhatian medis dengan segera. Terhirup: Carilah udara segar, perhatian medis segera, dan istirahat yang cukup. Tertelan: Jangan memaksakan muntah. Bilas mulut dengan air dan beri segelas air atau susu. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera cari pertolongan medis. • Atur suhu dan tekanan sesuai dengan prosedur dan jika sudah selesai proses destruksi tunggu sampai suhu turun 			
5.	Analisis kadar logam tembaga (Cu) menggunakan SSA	<ul style="list-style-type: none"> • Gas beracun dihasilkan dari pembakaran senyawa tembaga nitrat • Tembaga sulfat terhidrat ($\text{Cu}(\text{SO}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) jika kontak dengan kulit dan mata menyebabkan iritasi, luka bakar, dan alergi pada kulit. Jika terhirup dapat menyebabkan batuk, sakit tenggorokan, pusing, sakit kepala, mual, dan sesak napas. Jika tertelan dapat menyebabkan sakit tenggorokan, sakit perut, distensi abdomen, mual, dan muntah. Timbal nitrat tidak mudah terbakar, tetapi bersifat oksidator kuat yang dapat memicu ledakan dari zat lain. • Asam nitrat (HNO_3) bersifat korosif dan beracun. Jika pelarut asam nitrat kontak dengan mata dapat menyebabkan iritasi hingga kebutaan. Kontak kulit akan menyebabkan luka bakar yang sedang hingga serius. Terhirup dapat merusak membran mukosa hingga kematian. Setelah tertelan dapat mem bakar dengan cepat mulut, tenggorokan dan saluran gastrointestinal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menyediakan cerobong asap yang mengarah langsung keluar ruangan dan ventilasi yang baik • Kontak dengan kulit: Segera basuh area yang terkena dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Hapus pakaian yang terkontaminasi dan bersihkan dengan sabun. Diperlukan perhatian medis segera. Kontak dengan mata: Segera siram mata dengan banyak air setidaknya selama 15 menit untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, mencari perhatian medis dengan segera. Terhirup: Carilah udara segar dan perhatian medis segera. Tertelan: Jangan memaksakan muntah. Bilas mulut dengan air dan beri segelas air atau susu. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera cari pertolongan medis. • Kontak dengan kulit: Segera basuh area yang terkena dengan banyak air setidaknya selama 15 menit. Hapus pakaian yang terkontaminasi dan bersihkan dengan sabun. Diperlukan perhatian medis segera. Kontak dengan mata: Segera siram mata dengan banyak air setidaknya selama 15 menit untuk mencegah kerusakan 	3	2	6

			lebih lanjut, mencari perhatian medis dengan segera. Terhirup: Carilah udara segar dan perhatian medis segera. Tertelan: Jangan memaksakan muntah. Bilas mulut dengan air dan beri segelas air atau susu. Jangan pernah memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar. Segera cari pertolongan medis.			
6.	Analisis kandungan logam tembaga dalam mikroalga <i>Chlorella sp</i>	<ul style="list-style-type: none"> Asam nitrat (HNO₃) bersifat korosif dan tidak mudah terbakar. Jika terhirup HNO₃ dapat menyebabkan iritasi pada membran mukosa, batuk dan dyspnea. Kontak dengan kulit akan menyebabkan rasa terbakar. Kontak dengan mata menyebabkan resiko kebutaan. Setelah tertelan akan menyebabkan rasa terbakar dalam mulut, tenggorokan dan saluran gastrointestinal. Setelah masa laten, dapat mengakibatkan gagal jantung Timbul gas beracun saat HNO₃ bereaksi dengan zat oksidan 	<ul style="list-style-type: none"> Simpan ditempat yang kering dan dingin. Pisahkan dari zat yang mudah terbakar dan dapat direduksi, oksidan kuat, basa kuat, dan logam Terhirup HNO₃: hirup udara segar, hubungi dokter. Kontak dengan kulit: cuci dengan air yang banyak, olesi dengan polyethylene glycol 400, lepaskan pakaian yang terkontaminasi. Kontak dengan mata: bilas dengan air yang banyak sekitar 10 menit dengan kelopak mata terbuka lebar, segera hubungi dokter mata. Tertelan: berikan korban air minum yang banyak, hindari muntah (resiko perforasi), segera hubungi dokter 	2	2	6

KETERANGAN

RESIKO - merupakan suatu nilai yang ditetapkan untuk menentukan suatu tingkatan dampak/akibat berdasarkan keparahan yang disebabkan oleh kecelakaan kerja

- Level-1 : Tidak ada cedera, kerugian biaya rendah, kerusakan peralatan ringan
- Level-2 : Cedera ringan (hanya membutuhkan P3K), peralatan rusak ringan
- Level-3 : Menyebabkan cedera yang memerlukan perawatan medis ke rumah sakit, peralatan rusak sedang
- Level-4 : Menyebabkan cedera yang menyebabkan cacatnya anggota tubuh permanen, peralatan rusak berat
- Level-5 : Menyebabkan korban jiwa (kematian), peralatan rusak berat

PELUANG - merupakan suatu nilai yang ditetapkan untuk menentukan tingkat frekuensi terhadap kejadian kecelakaan kerja

- Level-1 : Hampir tidak pernah terjadi
- Level-2 : Frekuensi kejadian jarang terjadi waktu tahunan
- Level-3 : Frekuensi kejadian sedang dalam waktu bulanan
- Level-4 : Hampir 100 % terjadi kejadian tersebut
- Level-5 : 100 % kejadian pasti terjadi

TINGKAT BAHAYA - merupakan hasil perkalian dari Resiko (R) dan Peluang (P) sebagai tetapan tingkat bahaya dari suatu pekerjaan yang dilakukan

- SKOR : 1-4 Rendah Masih dapat ditoleransi
- 5-10 Sedang Dikendalikan sampai batas toleransi
- 11-25 Tinggi Pemantauan intensif dan pengendalian

	disusun oleh : Yuni Auladatul Auliyah	telah diperiksa oleh :		telah disetujui oleh : Ketua Jurusan
Tanggal	31 Mei 2021	31 Mei 2021	31 Mei 2021	31 Mei 2021
Tanda Tangan				
Nama	Yuni Auladatul Auliyah	Suci Amalia, M.Sc	A. Ghanaim Fasya, M.Si	Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIM/NIP	NIM. 16630071	NIP. 19821104 200901 2 007	NIP. 19820616 200604 1 002	NIP. 19790620 200604 2 002

Lampiran 5 Dokumen



Gambar 5.1 Kultivasi sampel



Gambar 5.2 Pemaparan sampel



Gambar 5.3 Sampel yang telah dioven



Gambar 5.4 Destruksi air sisa pemaparan

Gambar 5.5 Sampel dalam *vessel*

Gambar 5.6 Proses destruksi sampel



Gambar 5.7 Hasil destruksi



Gambar 5.8 Proses analisis dengan SSA