

**PEMANFAATAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AKUMULATOR LOGAM  
KADMIUM (Cd)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**ANIDA RACHMAWATI**

**NIM. 14620016**



**JURUSAN BIOLOGI**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM**

**MALANG**

**2019**

**PEMANFAATAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AKUMULATOR LOGAM  
KADMIUM (Cd)**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ANIDA RACHMAWATI**  
NIM. 14620016

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)

**JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2019**

**PEMANFAATAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AKUMULATOR LOGAM  
KADMIUM (Cd)**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ANIDA RACHMAWATI**  
NIM. 14620016

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
tanggal: 10 Desember 2019

1.1 Dosen pembimbing I,

Romaidi, M. Si. D. Sc  
NIP. 19810201 200901 1 019

Dosen pembimbing II,

M. Mukhlis Fahroddin, M.S.I  
NIPT. 201402011409

Mengetahui,  
Jurusan Biologi




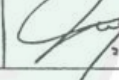
Romaidi, M. Si. D. Sc  
NIP. 19810201 200901 1 019

**PEMANFAATAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AKUMULATOR LOGAM  
KADMIUM (Cd)**

SKRIPSI

Oleh :  
**Anida Rachmawati**  
NIM. 14620016

Telah Dipertahankan  
di Depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai salah satu  
persyaratan Untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 10 Desember 2019

|                     |  |   |
|---------------------|--|---|
| Penguji Utama:      | <u>Dr. Dwi Suherivanto, S.Si. M.P.</u><br>NIP. 19740325 200312 1 001 |  |
| Ketua Penguji:      | <u>Bayu Agung Prahardika, M.Si</u><br>NIP. 19900807 201903 1 011     |  |
| Sekretaris Penguji: | <u>Romaidi, M.Si. D.Sc.</u><br>NIP. 19810201 200901 1 019            |  |
| Anggota Penguji:    | <u>M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I</u><br>NIPT. 201402011409              |  |



Mengesahkan,  
Dekan Jurusan Biologi

Romaidi, M.Si., D.Sc  
NIP. 19810201 200901 1 019



Scanned with  
CamScanner

## MOTTO

*“Jika tak suka sesuatu, ubahlah. Jika tak bisa, ubahlah cara pandangmu tentangnya” (Maya Angelou)*

*“Do a kindness right now”*



## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Assalamualaikum, Wr. Wb*

*Saya sembah puji syukur kita panjatkan kepada kehadiran Allah SWT yang mana dengan rahmat, hidayah-Nya, karunia-Nya yang masih memberikan kesempatan kepada saya untuk mengabdikan kepada-Nya, berfikir, berdzikir dan beramal shaleh yang merubah diri saya menjadi lebih baik lagi dan lagi dimasa depan. Shalawat serta salam saya haturkan kepada Baginda Rasulullah SAW yang telah membawa umatnya ke zaman pencerahan yang penuh keridhoan.*

*Saya persembahkan karya ini.....*

*kepada orang-orang yang sangat saya cintai yaitu keluarga terutama kedua orang tua, kakakku dan saudara-saudara yang selalu memberi dukungan dan motivasi sampai saat ini, hingga pendidikan yang saya tempuh selesai hingga saya bisa menyelesaikan penulisan skripsi.....*

*Saya persembahkan juga karya ini kepada orang tua, teman-teman Biologi 14 dan Kromosom A, tim "14" (Dyta dan Zulfikar) dan yang telah membantu saya dalam penelitian ini, serta teman-teman saya seperjuangan dan sahabat-sahabat serta seluruh pihak yang berperan mendukung dan membantu menjadi penyemangat dalam menyelesaikan skripsi ini.*

*Wassalamualaikum, Wr. Wb*

**PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Anida Rachmawati  
NIM : 14620016  
Jurusan : Biologi  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Skripsi : Pemanfaatan *Chlorella* sp. Sebagai Akumulator Logam Kadmium (Cd).

menyatakan dengan sebenarnya bahwa tugas akhir/skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan 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 tugas akhir/skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 26 Desember 2019  
Yang membuat pernyataan,



Anida Rachmawati  
NIM. 14620016

## PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya





## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dengan judul “ Pemanfaatan *Chlorella* sp. sebagai akumulator logam kadmium (Cd).” Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah mengantarkan kita ke jalan yang terang menuju jalan kebenaran.

Penyusunan skripsi ini tentu tidak lepas dari bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M. Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Romaidi, M. Si, D. Sc selaku Ketua Jurusan Biologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Romaidi, M. Si, D. Sc dan M. Mukhlis Fahrudin, M. S.I, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar dan ikhlas telah memberikan bimbingan, pengarahan serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Dwi Suheriyanto, M. P, dan Bayu Agung Prahardika M, Si selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga membantu terselesaikannya skripsi ini.
6. Dr. Retno Susilowati, M. Si, selaku dosen wali yang telah memberikan saran, nasehat, arahan serta dukungan sehingga penulisan skripsi dapat terselesaikan.
7. Bapak Drs. M. Fatoni, M.S dari Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (BPKI) Surabaya, Jawa Timur yang telah membantu saya dalam konsultasi dan evaluasi dalam penulisan skripsi ini.
8. Bapak/Ibu dosen serat segenap civitas akademika dosen Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

9. Kedua orang tua dan kakak saya serta keluarga tercinta yang telah senantiasa memberikan do'a dan restunya kepada penulis dalam menuntut ilmu.
10. Teman-temanku di laboratorium Biokimia, teman-temanku seperjuangan bimbingan pak Romaidi dan teman angkatan Biologi 2014 yang senantiasa memberikan semangat dan setia menemani saat suka dan duka. Terimakasih Filza Chalid B, sudah menemani & memberikan support serta teman-temanku Eka Novianti, Elly N., Abda'u K (lely), Ayu, Mbak Miftah dll.
11. Semua pihak yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi.
12. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi lainnya. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan ilmu yang bermanfaat dan melimpahkan Rahmat dan Ridho-Nya. Allahumma Amiin.

Akhirnya penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu, saran dan kritik yang membangun untuk sempurna nya skripsi ini sangat penulis harapkan. Semoga dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya. *Amin*.

Malang, 26 November 2019

Penulis

## PEMANFAATAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AKUMULATOR LOGAM KADMIUM (Cd)

### ABSTRAK

Anida Rachmawati., Romaidi., M. Mukhlis Fahrudin

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian konsentrasi logam kadmium (Cd) yang berbeda terhadap pertumbuhan *Chlorella* sp. dan mengetahui kemampuan *Chlorella* sp. dalam mengakumulasi konsentrasi logam kadmium (Cd). Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan (0, 5, 10, 20 dan 50 ppm) dengan 3 kali pengulangan. Metode penelitian yang dilakukan meliputi, 1) sterilisasi alat dan media kultur, 2) pembuatan media kultur ekstrak tauge (MET) *Chlorella* sp. 3) pemanenan stok kultur *Chlorella* sp. 4) penghitungan kepadatan populasi *Chlorella* sp. dengan menggunakan *haemocytometer* dan *hand counter*, dan selanjutnya 5) sampel dianalisa dengan AAS. Pengaruh konsentrasi logam kadmium yang berbeda dianalisis dengan *Anova* analisis variansi dan dilanjutkan dengan uji BNT signifikansi 95%. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemberian konsentrasi logam kadmium yang berbeda menyebabkan penurunan pertumbuhan *Chlorella* sp. dimana semakin tinggi konsentrasi logam kadmium yang diberikan terhadap kultur sel *Chlorella* sp. menyebabkan semakin rendah pertumbuhan sel *Chlorella* sp. *Chlorella* sp. mampu mengakumulasi logam kadmium sampai pada konsentrasi 50ppm sebesar 79%. Pemberian konsentrasi logam kadmium yang berbeda menyebabkan adanya perubahan warna pada organel sel *Chlorella* sp. oleh karena itu, *Chlorella* sp. berpotensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai agen bioremediasi logam berat salah satunya logam kadmium.

**Kata kunci** : bioremediasi, media ekstrak tauge, *Chlorella* sp. logam kadmium, bioakumulasi, pertumbuhan

# THE APPLICATION OF *CHLORELLA* sp., AS CADMIUM METAL ACCUMULATOR (Cd)

## ABSTRACT

Anida Rachmawati., Romaidi., M. Mukhlis Fahrudin

This study aims to identify the effect of giving different concentrations of cadmium metal (Cd) on the growth of *Chlorella* sp., and the ability of *Chlorella* sp., in accumulating cadmium metal concentrations (Cd). This study used a completely randomized design with 5 treatments (0, 5, 10, 20, and 50 ppm) with 3 repetitions. The methods of analyzing this study were; 1) sterilizing the tools and culture media, 2) making culture media for bean sprout extract (MET) *Chlorella* sp., 3) harvesting culture stock of *Chlorella* sp., 4) calculating the population density of *Chlorella* sp through haemocytometer and handcounter 5) analyzing the sample by using AAS. Besides, the effect of different cadmium metal concentrations was analyzed by Anova analysis of variance and LSD test significance of 95%. Based on the results of this study, it can be concluded that giving different cadmium metal concentrations caused the decrease of *Chlorella* sp., growth, where giving the higher concentration of cadmium metal to the culture of *Chlorella* sp. cells caused the lower cell growth of *Chlorella* sp. that was able to accumulate cadmium metal to a concentration of 50 ppm by 79%. In addition, giving different concentrations of cadmium metal also caused discolorization on *Chlorella* sp cell organelles. Therefore, *Chlorella* sp. has the potential to be used as a heavy metal bioremediation agent such as cadmium.

**Keywords:** bioremediation, bean sprout extract media, *Chlorella* sp., cadmium metal, bioaccumulation, growth

## استخدام *Chlorella sp.* كمراكم لمعادن الكاديوم (Cd)

ملخص البحث

أنيدا رهمواتي، رميدي، مخلص فخر الدين

يهدف هذا البحث لان يحدد تأثير إعطاء تركيزات لمعادن الكاديوم (Cd) المختلفة على نمو *Chlorella sp.* ومعرفة قدرة *Chlorella sp.* في تراكم تركيزات معادن الكاديوم (Cd) استخدم هذا البحث تصميمًا عشوائيًا تمامًا (CRD) مع 5 علاجات (0، 5، 10، 20 و 50 جزء في المليون) مع 3 تكريرات. تضمنت طرق البحث كما يلي: (1) تعقيم الأدوات ووسائط الثقافة، (2) تصنيع وسائط الثقافة لاستخراج براعم الفاصوليا *Chlorella sp.* (MET) (3) حصاد وجود الثقافة *Chlorella sp.* (4) حساب الكثافة السكانية *Chlorella sp.* باستخدام عداد خلايا الدم وعداد اليد، وبعد ذلك، (5) حللت العينة باستخدام AAS وحلل تأثير تركيزات معادن الكاديوم المختلفة بواسطة تحليل أنوفا لتحليل التباين واستمر باختبار *BNT* بنسبة 95%. بناء على نتائج البحث، يمكن ان يلخص أن إعطاء تركيزات مختلفة لمعادن الكاديوم يسبب انخفاضًا في نمو *Chlorella sp.* حيث يعطى تركيزات معادن الكاديوم العالي لثقافة خلية *Chlorella sp.* يسبب انخفاضًا عن نمو الخلايا *Chlorella sp.* يقدر *Chlorella sp.* على تجميع معادن الكاديوم إلى تركيزات 50 جزء في المليون بنسبة 79%. إعطاء تركيزات مختلفة لمعادن الكاديوم يسبب إلى تغيير اللون في عضيات خلايا *Chlorella sp.* لذلك، *Chlorella sp.* تمكن أن تستخدم كعامل للمعادن الحيوية الثقيلة، واحدة منها هي الكاديوم.

**الكلمات الرئيسية:** المعالجة البيولوجية، استخراج براعم الفاصوليا، *Chlorella sp.* معادن الكاديوم التراكم الأحيائي، النمو

## DAFTAR ISI

|   |       |
|---|-------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                  | i     |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....            | ii    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....             | iii   |
| <b>MOTTO</b> .....                          | iv    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....            | v     |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....    | vi    |
| <b>PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI</b> .....     | vii   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                 | viii  |
| <b>ABSTRAK</b> .....                        | x     |
| <b>ABSTRACT</b> .....                       | xi    |
| ملخص البحث .....                            | xii   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                     | xiii  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                   | xvi   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                  | xvii  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                | xviii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....              | 1     |
| 1.1 Latar Belakang .....                    | 1     |
| 1.2 Rumusan masalah .....                   | 7     |
| 1.3 Tujuan .....                            | 7     |
| 1.4 Hipotesis .....                         | 7     |
| 1.5 Manfaat .....                           | 7     |
| 1.6 Batasan Masalah .....                   | 8     |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....        | 9     |
| 2.1 Pencemaran Lingkungan .....             | 9     |
| 2.2 Kadmium dan Toksisitasnya .....         | 12    |
| 2.2.1 Deskripsi Kadmium .....               | 12    |
| 2.2.2 Toksisitas Kadmium .....              | 13    |
| 2.3 Tinjauan <i>Chlorella</i> sp. ....      | 15    |
| 2.3.1 Klasifikasi <i>Chlorella</i> sp. .... | 15    |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.2 Morfologi <i>Chlorella</i> sp.....   | 15 |
| 2.3.3 Reproduksi <i>Chlorella</i> sp.....  | 19 |
| 2.3.4 Fase Pertumbuhan <i>Chlorella</i> sp. ....   | 20 |
| 2.4 Bioremediasi .....   | 22 |
| 2.5 Pemanfaatan <i>Chlorella</i> sp. dalam bioremediasi logam berat .....  | 24 |
| 2.6 Mekanisme <i>Chlorella</i> sp. dalam mengakumulasi logam kadmium.....  | 26 |
| 2.7 Kajian keislaman pemanfaatan <i>Chlorella</i> sp. sebagai bioremediator lingkungan dalam perspektif Islam.....           | 28 |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....   | 32 |
| 3.1 Rancangan Penelitian .....   | 32 |
| 3.2 Waktu dan Tempat .....   | 32 |
| 3.3 Alat dan Bahan.....  | 32 |
| 3.3.1 Alat.....  | 32 |
| 3.3.2 Bahan .....  | 32 |
| 3.4 Prosedur penelitian.....   | 33 |
| 3.4.1 Sterilisasi Alat dan Media Kultur .....  | 33 |
| 3.4.2 Pembuatan Media Kultur Ekstrak Tauge (MET) <i>Chlorella</i> sp.....  | 33 |
| 3.4.3 Pembiakan <i>Chlorella</i> sp. ....  | 34 |
| 3.4.4 Uji pengaruh perbedaan konsentrasi kadmium yang terhadap pertumbuhan <i>Chlorella</i> sp. ....                         | 34 |
| 3.4.5 Uji akumulasi logam kadmium oleh <i>Chlorella</i> sp menggunakan <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS)..... | 36 |
| 3.5 Analisis data .....  | 37 |
| <b>BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN</b> .....   | 39 |
| 4.1 Pengaruh perbedaan konsentrasi logam kadmium terhadap pertumbuhan populasi sel <i>Chlorella</i> sp. ....                 | 39 |
| 4.2 Uji kemampuan <i>Chlorella</i> sp. dalam mengakumulasi logam berat kadmium yang berbeda.....                             | 51 |
| 4.3 Dialog hasil penelitian dalam integrasi Sains dan Islam.....   | 60 |
| <b>BAB V PENUTUP</b> .....   | 64 |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 64 |
| 5.2 Saran.....   | 64 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....  | 65 |

|   |    |
|---|----|
| <b>LAMPIRAN</b> .....   | 73 |
| Lampiran 1. Prosedur kerja .....                                    | 73 |
| Lampiran 2. Perhitungan .....                                       | 75 |
| Lampiran 3. Tabel Data Hasil Pengamatan.....                        | 77 |
| Lampiran 4. Hasil Analisis Variansi (ANAVA) dan Uji lanjut BNT..... | 78 |
| Lampiran 5. Hasil gambar pengamatan .....                           | 80 |
| Lampiran 6. Dokumentasi.....  | 81 |





## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 1. Data pengamatan kepadatan populasi sel <i>Chlorella</i> sp. pada konsentrasi logam Cd .....   | 77 |
| Tabel 2. Rerata pertumbuhan <i>Chlorella</i> sp. pada masing-masing perlakuan.....   | 78 |
| Tabel 3. Ringkasan hasil One Way Anova tentang pengaruh perbedaan konsentrasi logam kadmium (Cd) terhadap populasi sel <i>Chlorella</i> sp. .... | 79 |
| Tabel 4. Ringkasan BNT 0.05 tentang pengaruh perbedaan konsentrasi ion logam kadmium (Cd) terhadap populasi sel <i>Chlorella</i> sp. ....        | 79 |



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 Bentuk umum morfologi <i>Chlorella</i> sp. (Prabowo,2009) .....   | 16 |
| Gambar 2.2 Struktur morfologi <i>Chlorella</i> sp. (Alim dan Kurnistuty, 1995).....  | 17 |
| Gambar 2.3 Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella</i> sp. ( <a href="https://wordpress.com">https://wordpress.com</a> diakses tanggal 11 mei 2019).....  | 21 |
| Gambar 2.4 Absorption and adsorption scheme mechanism from a microalgae cell (Kaplan, 2013).....   | 27 |
| Gambar 3. 1 Pembacaan pada Haemocytometer (Isnansetyo dan Kurniastuty,1995).....   | 36 |
| Gambar 4.1. Kepadatan sel <i>Chlorella</i> sp pada hari pertama hingga hari kesepuluh .....  | 39 |
| Gambar 4.2. Rata-rata pertumbuhan <i>Chlorella</i> sp (mg/l) selama 10 hari dengan konsentrasi kadmium (Cd) yang berbeda. Notasi huruf yang berbeda pada gambar menunjukkan adanya pengaruh perbedaan signifikan setiap perlakuan ( $P < 0,05$ ) ..... | 47 |
| Gambar 4.3 Rata-rata bioakumulasi kadmium (Cd) oleh <i>Chlorella</i> sp (mg/l) dengan konsentrasi yang berbeda selama 10 hari. Notasi huruf yang berbeda pada gambar menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan ( $P < 0.05$ ).....       | 52 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |    |
|---|----|
| Lampiran 1. Prosedur kerja .....                                    | 73 |
| Lampiran 2. Perhitungan .....                                       | 75 |
| Lampiran 3. Tabel data hasil pengamatan.....                        | 77 |
| Lampiran 4. Hasil analisis variansi (ANOVA) dan Uji lanjut BNT..... | 78 |
| Lampiran 5. Hasil gambar pengamatan .....                           | 80 |
| Lampiran 6. Dokumentasi .....                                       | 81 |



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Adanya aktifitas industri, pertambangan, pertanian serta jumlah penduduk yang semakin bertambah, telah menyebabkan menurunnya kualitas air di lingkungan yang signifikan pada badan air seperti sungai, dan danau (Priadie, 2012). Dampak meningkatnya industri ini adalah munculnya pencemaran air yang diakibatkan oleh limbah. Limbah yang dihasilkan industri dapat mencemari lingkungan sekitar apabila tidak dikelola dengan benar, akibatnya lingkungan akan ikut tercemar dan mengganggu kesehatan masyarakat sekitar. Bahan pencemar bisa berasal dari industri maupun rumah tangga yang dapat mencemari dan berdampak negatif yaitu terjadinya perubahan ekosistem perairan menjadi buruk dan mengalami perubahan seperti suhu, pH, BOD dan COD serta kandungan limbah yang dapat mempengaruhi kehidupan flora dan fauna di perairan (Anugrah, 2017).

Salah satu sumber kehidupan bagi setiap manusia adalah air. Air yang tercemar akan mengganggu kehidupan manusia dan munculnya pencemaran. Pencemaran air terjadi adanya pembuangan hasil olahan limbah pabrik dan rumah tangga yang mengandung unsur logam, yang dibuang langsung ke perairan tanpa ada proses pengolahan dan menyebar ke lingkungan (Anugrah, 2017). Menurut Heriyanto (2011) salah satu bahan pencemar dari industri dan rumah tangga melibatkan unsur-unsur logam seperti Kadmium (Cd), Arsen (As), Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Krom (Cr), Nikel (Ni) dan Cuprum (Cu) merupakan contoh limbah

pencemar yang sangat berbahaya, bersifat toksik dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Sehingga, menimbulkan kerusakan di lingkungan. Kerusakan tersebut telah dijelaskan dalam Al-Qur'an surat Ar-Rum (30: 41):

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

Artinya : “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (41).

Berdasarkan ayat di atas dapat disimpulkan bahwa kerusakan yang terjadi di daratan dan lautan adalah akibat dari ulah manusia. Menurut Ali (2009) dalam Tafsir Yusuf Ali, kalimat “*La'allahum Yarjiun*” bermakna bahwa tujuan terakhir keadilan Tuhan dan hukuman-Nya ialah mengajak manusia memperbaiki dan bertanggungjawab menjaga keseimbangan ekosistem dan mengembalikannya ke bentuk semula seperti halnya ketika diciptakan (Suriyani dan Khotijah, 2013). Kerusakan ditimbulkan oleh adanya setiap kegiatan yang dilakukan manusia yang tidak semestinya. Perbuatan ini dapat menimbulkan kerusakan yang mengganggu keseimbangan ekosistem yang berada di darat maupun di laut (Yusuf, 2000). Hal ini memicu terjadinya pencemaran yang disebabkan oleh limbah industri dan rumah tangga salah satunya yaitu limbah yang mengandung unsur logam.

Berdasarkan toksisitasnya, logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu, logam berat esensial dan *non esensial*. Logam *esensial* merupakan logam yang sangat dibutuhkan organisme dalam jumlah tertentu, apabila jumlah yang sangat berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Sedangkan, logam berat *non esensial*

merupakan jenis logam yang belum diketahui manfaatnya atau dapat menimbulkan efek beracun seperti timbal dan kadmium (Kristanto, 2002).

Jumlah logam berat dalam lingkungan dapat berkurang dan bertambah, hal ini tidak lepas oleh adanya aktivitas manusia yang dapat mencemari lingkungan dan akibatnya dapat merugikan manusia itu sendiri. Salah satu jenis logam berat berbahaya yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan adalah kadmium (Cd). Kadmium merupakan logam berat *non esensial*, yang memiliki karakteristik warna putih keperakan, tahan korosif dan tahan panas. Kadmium sering digunakan untuk bahan pigmen (industri plastik, enamel dan cat) (Darmono, 1995).

Kadmium merupakan salah satu logam berat dengan penyebaran sangat luas di alam. Di alam Cd bersenyawa dengan belerang (S) sebagai *greennocckite* (CdS) yang merupakan hasil dari proses peleburan biji seng (Zn), timbal (Pb) dan tembaga (Cu) yang ditemui bersama senyawa *spalerite* (ZnS). Di lingkungan alami yang bersifat basa, kadmium dapat mengalami hidrolisis dan terabsorpsi oleh padatan tersuspensi dan membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik. Di perairan alami kadmium juga dapat membentuk ikatan kompleks ligan organik maupun anorganik yaitu  $Cd^{2+}$ ,  $Cd(OH)^+$ ,  $CdCl^+$ ,  $CdSO_4$ ,  $CdCO_3$  dan Cd organik (Sanusi, 2006).

Sumber kadmium yang terdapat di lingkungan dalam tanah berasal dari alam dan adanya aktivitas antropogenik. Sumber alam berasal dari batuan atau material lain seperti glacial dan alluvium. Sedangkan, aktivitas antropogenik berasal dari pupuk, limbah industri serta buangan limbah domestik (Sudarmaji, 2006). Peningkatan pencemaran logam berat Cd antropogenik melalui

pemanfaatan Cd dalam berbagai industri seperti, tekstil, baterai, plastik dan elektroplating (Palar, 2004). Proses pelepasan Cd ke dalam perairan alami sebagian besar berasal dari industri galvanik. Sumber pencemaran lain adalah industri pupuk dan fungisida mengandung Cd bersamaan dengan Zn juga merupakan sumber polusi pencemar kedua. Penggunaan utama Cd adalah bidang elektroplating dengan logam-logam lainnya untuk tahan korosi dan pabrik pembuatan gelas, keramik, pigmen dan beberapa biosida lainnya (Allen, 1998).

Kadmium memiliki pengaruh negatif pada manusia dan juga lingkungan. Pengaruhnya pada kesehatan manusia yaitu penyumbatan pembuluh darah yang menyebabkan kematian, hati, kegagalan fungsi ginjal (Palar, 1994), kerusakan tulang (Chen, 2009), hipertensi dan kanker (Watts, 1997). Sedangkan pengaruh kadmium pada lingkungan yaitu bersifat racun, merugikan bagi semua organisme hidup khususnya membunuh biota air di perairan (Palar, 1994).

Ada berbagai cara untuk mengatasi pencemaran logam kadmium di lingkungan baik dengan cara fisika, kimiawi, dan biologis. Langkah pendekatan secara fisika dengan cara melakukan proses penyaringan untuk menghilangkan logam berat pada larutan yang encer biasa disebut filtrasi (Riffat, 2012). Adapun pendekatan secara kimiawi dengan cara proses pencampuran bahan kimia ke dalam bahan baku dalam bentuk larutan tercampur yang tersuspensi disebut koagulasi (Steel dan McGhee, 1985). Pendekatan biologis dilakukan dengan memanfaatkan tumbuhan dan organisme seperti mikroalga serta mikroorganisme lainnya (jamur, yeast, bakteri). Penggunaan dengan cara fisik-kimiawi ini tidak ramah lingkungan, berbeda dengan cara biologis dengan memanfaatkan mikroalga sebagai akumulasi logam kadmium (Monteiro, 2010).

Mikroalga merupakan bioremediator yang baik, karena dapat hidup di lingkungan tercemar dan dapat meminimalisir kandungan ion logam berat di lingkungannya. Salah satu mikroalga yang dimanfaatkan sebagai agen bioremediasi yaitu *Chlorella* sp. merupakan jenis alga uniseluler yang berwarna hijau dan berukuran mikroskopis dan berbentuk bulat. *Chlorella* sp, juga memiliki kemampuan menyerap logam yang terlarut dalam air. *Chlorella* sp, dapat tumbuh dan berkembang biak pada air yang terkontaminasi logam berat, selain itu *Chlorella* sp, mempunyai kemampuan menyerap logam-logam berat dengan dua macam cara melalui permukaan selnya, yaitu adsorpsi dan absorpsi (Dewi dan Gultom, 2009). Dalam literatur Fatriyah (2007) menjelaskan *Chlorella* sp. mampu menyerap logam berat jenis Cd sebesar 8,549 mg dan mampu bertahan hidup di lingkungan tercemar dengan adanya peningkatan persentase biomassa Cd yang terserap sebesar 0,088 mg. Biomassa *Chlorella* sp, menaikkan presentase jumlah logam yang terserap. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya jumlah biomassa, maka akan semakin banyak situs aktif pada dinding sel biomassa yang berinteraksi dengan ion logam. Sedangkan Menurut Fachrullah (2011) menjelaskan bahwa sel *Chlorella* sp, memiliki daya serap tinggi terhadap ion logam berat. Kapasitas serapan disebabkan oleh adanya faktor lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroalga dan tingkat kelarutan logam berat di dalam media kultur.

Beberapa penelitian terkait akumulasi mikroalga menurut Soeprbowati dan Hariyati (2017) melaporkan bahwa *Chlorella pyrenoidosa* memiliki kinerja yang sangat baik pada penghilangan Cr, Cu, Pb dan Cd lebih dari 80%, dan memiliki *Bio Concentration Factor* (BCF) lebih tinggi daripada *S. platensis* dan



*C. calcitrans*. *C. pyrenoidosa* disarankan sebagai fikoremediator yang sangat baik untuk Cd dari pada limbah-limbah tekstil. Menurut Fachrullah (2011) bahwa kapasitas serapan dapat terlihat dari presentase serapan ion logam berat Cd sebesar 84,083%. Mekanisme penyerapan kadmium terhadap *Chlorella* sp. terdiri dari dua cara yaitu adsorpsi dan absorpsi. Adsorpsi yaitu proses pertukaran dan pengikatan ion logam berat oleh gugus fungsi yang terdapat di permukaan sel, sedangkan absorpsi yaitu proses penyerapan dan pengikatan masuknya ion logam berat melalui transport aktif dan melibatkan energi yang terjadi akumulasi di vakuola (Devinta, 2013).

Purnamawati, *et al.* (2015) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa *Chlorella vulgaris* dapat menurunkan kadar ion logam kadmium dalam medium selama 76 hari dengan konsentrasi 1 ppm 76%, 3 ppm 56%, 5 ppm 51% dan terjadi akumulasi ion logam pada *C. vulgaris* yang menunjukkan nilai biokonsentrasi semakin menurun dengan adanya peningkatan konsentrasi ion logam. Hal ini sesuai pada penelitian (Purnamawati, 2015) bahwa *C. vulgaris* terbukti dapat menurunkan konsentrasi ion Cd di perairan. Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini difokuskan untuk mengetahui kemampuan pengaruh pertumbuhan *Chlorella* sp. dan mengetahui kemampuan *Chlorella* sp. dalam menurunkan konsentrasi logam kadmium dengan konsentrasi berbeda. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi alternatif terhadap pencemaran logam berat di lingkungan dan dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan *Chlorella* sp. dalam bioremediasi logam berat seperti kadmium.

## 1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah terdapat pengaruh pemberian konsentrasi logam kadmium terhadap pertumbuhan *Chlorella* sp. ?
2. Bagaimana kemampuan *Chlorella* sp. dalam mengakumulasi konsentrasi logam kadmium?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh pemberian konsentrasi logam kadmium terhadap pertumbuhan *Chlorella* sp.
2. Untuk mengetahui kemampuan *Chlorella* sp. dalam mengakumulasi konsentrasi logam kadmium.

## 1.4 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah :

1. Pemberian logam kadmium pada pertumbuhan *Chlorella* sp. tersebut berpengaruh
2. *Chlorella* sp. mampu mengakumulasi logam kadmium pada konsentrasi tertentu.

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh penelitian ini adalah :

1. Hasil penelitian dapat menjadikan *Chlorella* sebagai bioakumulator logam kadmium.

2. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai informasi penunjang dalam pengembangan ilmu bagi masyarakat sekitar kawasan perindustrian maupun perkotaan.
3. Hasil penelitian dapat menjadikan *Chlorella* sp. sebagai bioindikator pencemaran lingkungan ekosistem perairan.

### 1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diteliti adalah sebagai berikut :

1. Media kultur alami yang digunakan untuk kultivasi mikroalga *Chlorella* sp. yaitu media ekstrak taugé (MET) 4%, sebagai media pertumbuhan untuk kultur mikroalga *Chlorella* sp.
2. Bahan yang digunakan untuk bioremediasi adalah mikroalga *Chlorella* sp. yang diperoleh dari Pusat Penelitian *Surfactant Bioenergy Research Center* (SBRC) LPPM Bogor.
3. Sampel yang digunakan adalah logam berat kadmium (Cd) dengan konsentrasi berbeda 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 50 ppm dan dilakukan 3 kali pengulangan.
4. Pertumbuhan *Chlorella* sp. terhadap pemberian konsentrasi logam kadmium yang berbeda diamati selama 10 hari.
5. Kemampuan *Chlorella* sp. sebagai bioremediator dalam menyerap logam Cd diukur dengan menggunakan metode analisa *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS) di Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya, Jawa Timur.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan di Indonesia menunjukkan gejala serius, penyebab terjadinya pencemaran dari buangan limbah industri seperti industri tekstil yang membuang limbahnya sembarangan pada tempat-tempat seperti sungai yang masih digunakan oleh masyarakat untuk kebutuhan sehari-hari. Buangan air limbah industri ini mengakibatkan timbulnya pencemaran sungai yang dapat merugikan masyarakat dan dapat mengganggu ekosistem perairan (Yudo, 2006). Salah satu limbah pencemaran yang berpotensi menurunkan daya dukung lingkungan yaitu logam berat (Dahuri, 2003).

Lingkungan yang telah tercemar dapat dipastikan merusak lingkungan sekitarnya, contohnya buangan limbah industri yang mengandung kadar logam tinggi, dan buangan limbah rumah tangga (air bekas cucian dll) merupakan salah satu dari banyaknya kasus pencemaran lingkungan. Akibat dari lingkungan yang tercemar tersebut akan berdampak ke lingkungan sekitarnya seperti rusaknya tanaman dan tumbuh-tumbuhan, ekosistem perairan, *Global warming*, bencana alam, banjir dan masih banyak lainnya yang diakibatkan dari ulah manusia sendiri (Kerap, 2006). Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga). Limbah tidak dikehendaki oleh masyarakat dan lingkungan sekitar, karena banyak mengandung bahan polutan dan tidak memiliki nilai ekonomi. Sehingga limbah yang banyak mengandung bahan polutan memiliki sifat racun dan berbahaya dikenal dengan limbah B-3

(berbahaya, bau dan beracun), yang dinyatakan sebagai bahan dalam jumlah relatif sedikit tetapi berpotensi merusak lingkungan hidup dan sumber daya. Apabila ditinjau secara kimiawi, bahan-bahan limbah terdiri dari bahan kimia organik dan anorganik (Kristanto, 2002).

Limbah bahan organik merupakan, limbah yang langsung dibuang ke badan air penerima tanpa adanya proses pengolahan maka akan menimbulkan pencemaran, seperti menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap dan berkurangnya kadar oksigen yang terlarut dalam air, sehingga mengakibatkan organisme yang hidup dalam air terganggu karena kehidupannya tergantung pada lingkungan sekitarnya. Pencemaran yang dilakukan secara terus menerus akan mengakibatkan matinya organisme yang ada dalam air, mengingat air berubah kondisinya menjadi anaerob (Agung, 2010). Menurut Wardhana (1995) ada 2 cara yang digunakan untuk menentukan kadar oksigen dalam air, yaitu secara kimia dengan COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Apabila nilai BOD makin besar maka makin tinggi pula tingkat pencemarannya.

Menurut Sastrawijaya (1996) ada beberapa cara pencegahan dan penanggulangan pencemaran limbah dilakukan sebagai berikut: 1) Cara pemakaian pestisida sesuai aturan yang ada. 2) Sisa-sisa limbah buangan pabrik dapat dinetralkan lebih dulu sebelum dibuang langsung ke sungai. 3) Pembuangan limbah pabrik tidak boleh melalui daerah pemukiman penduduk sekitar. Hal ini bertujuan untuk menghindari keracunan yang mungkin terjadi karena penggunaan air sungai oleh penduduk. 4) Setiap rumah hendaknya membuat septi tank yang layak dipakai dan baik.

Ada beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi keberlangsungan makhluk hidup yaitu faktor abiotik dan biotik. Faktor biotik adalah organisme dan mikroorganisme, sedangkan faktor abiotik seperti tanah, air, cahaya, suhu, kelembaban, pH, iklim, mineral dan lain-lain. Salah satu faktor yang dapat merusak lingkungan yaitu adanya buangan limbah secara berlebihan atau melebihi batas ambang baku mutu yang telah ditentukan. Penggunaan limbah secara berlebihan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh manusia sendiri dalam Al-Qur'an telah dijelaskan bahwa kerusakan yang ada di bumi ini adalah dari tangan-tangan manusia sendiri, seperti dalam firman Allah Surat Al-A'raf (7):56 :

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

Artinya: *“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi ini, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan dikabulkan sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”*.

Ayat diatas menjelaskan bahwa apa yang telah diberikan Allah kepada umatnya sesuai dengan ukuran yang diberikan Allah yang harus dijaga. Atas dasar manusia sebagai khalifah di muka bumi dengan bertanggung jawab terhadap lingkungan merupakan salah satu konsekuensi nikmat yang diberikan Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang kepada umat manusia dengan meningkatkan kesadaran terhadap lingkungan. Terkadang manusia sebagai khalifah lupa terhadap posisi mereka yang dapat menyebabkan kerusakan di muka bumi baik darat maupun laut (Muhammad, 2014).

Kesalahan dalam memperlakukan alam akan mengganggu keseimbangan dan menyebabkan kerusakan yang mengancam kehidupan. Hubungan yang tidak harmonis antara manusia dengan alam sekitar sehingga, terjadi kerusakan alam. Kerusakan tersebut akibat dari perbuatan manusia itu sendiri. Kerusakan di darat dapat berupa pencemaran lingkungan, baik pencemaran air, udara maupun tanah yang semuanya akibat ulah tangan-tangan jahil manusia (Rossidy, 2008).

## **2.2 Kadmium dan Toksisitasnya**

### **2.2.1 Deskripsi Kadmium**

Beberapa jenis logam berat yang dibutuhkan oleh makhluk hidup, sesuai kebutuhannya dalam kadar yang sedikit. Apabila kebutuhan dalam jumlah sedikit itu tidak terpenuhi, maka yang terjadi akan sangat fatal terhadap kelangsungan makhluk hidup. Logam-logam yang dapat digunakan dalam jumlah kadar sedikit disebut dengan logam-logam esensial tubuh (Palar, 2004).

Logam berat yang ada di bumi memiliki kadar toksisitas yang berbeda, ada yang kadar toksisitasnya tinggi dan ada pula kadar toksisitas rendah. Logam berat yang memiliki kadar toksisitas tinggi yang berbahaya bagi pekerja-pekerja. Logam-logam yang telah mencemari lingkungan (Fardiaz, 1992) termasuk perairan (Hutagalung, 1991) adalah golongan logam berat merkuri (Hg), arsenik (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), kromium (Cr) dan nikel (Ni). Logam berat ditemukan akibat letusan gunung berapi, erosi, proses pertambangan dan lain sebagainya yang memiliki kandungan unsur logam di dalam bumi. Logam tersebut dapat mengumpul dalam tubuh suatu organisme, dan tetap tinggal dalam tubuh dengan jangka waktu lama sebagai racun yang terakumulasi oleh logam berat (Fardiaz, 1992).

Salah satu jenis dari banyaknya logam berat yang memiliki kadar toksisitas tinggi yaitu kadmium. Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat non esensial yang memiliki warna putih keperakan, tahan korosif dan tahan panas. Kadmium sering digunakan bahan pigmen (industri plastik, enamel dan cat) (Darmono, 1995). Menurut Pacyna (1987) logam kadmium juga memiliki daya gabung yang tinggi terhadap sulfur (S) dengan kandungan kadmium didalam mineral dapat mencapai 5%.

Menurut Darmono (1995) kadmium berdasarkan sifat kimianya merupakan senyawa yang dibentuk dari bilangan valensi  $2^+$ , bila dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion  $\text{OH}^-$ , dan ion-ion  $\text{Cd}^{2+}$  maka akan mengalami pengendapan. Kadmium *oxide* (*oxigen*), kadmium chlorine dan kadmium sulfida (belerang) merupakan suatu kombinasi elemen yang ada dalam kadmium. Logam kadmium (Cd) dapat ditemukan didalam perairan baik didalam sedimen ataupun dalam penyediaan jasa air minum. Pada unsur kimia tabel periodik kadmium menunjukkan lambang dengan nama Cd. Adapun sifat-sifat fisika dan kimia kadmium meliputi; titik didih  $765^\circ\text{C}$  dan titik leleh  $320^\circ\text{C}$ , dengan nomor atom 48 dan 112,4 berat atomnya, memiliki massa jenis sekitar  $8,65 \text{ g/cm}^3$  yang bersifat lunak, dan dapat bereaksi dengan halogen dan non logam serta memiliki sifat korosif yang tinggi.

### 2.2.2 Toksisitas Kadmium

Tingkat toksisitas logam kadmium sangat tinggi dan berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup. Kadmium sangat berbahaya apabila penghirupan debu halus kadmium yang dilakukan oleh makhluk hidup dan dapat menyebabkan pneumonitis, pembengkakan paru-paru (pulmonary edema) dan kematian pada



seseorang. Kadmium juga dapat berdampak negatif pada kesehatan, khususnya kanker dan tumor prostat (*carcinoma prostate*) yang menyerang kelenjar prostat bagi pekerja-pekerja buruh pabrik baterai. Keracunan kadmium, dapat merusak sistem organ lainnya seperti, daya penciuman menurun, sistem sirkulasi darah, merusaknya kelenjar reproduksi, ginjal, jantung dan kerapuhan tulang (Palar, 2004), sehingga dapat mengalami kematian apabila konsentrasi yang disebabkan oleh uap CdO berkisar dari 2500-2900 mg/m<sup>3</sup> (Darmono, 2001).

Menurut West (1981) kadar kandungan kadmium dalam kerak bumi jumlahnya relatif kecil sekitar 0,15-0,2 g/g. Proses terjadinya keracunan kadmium disebabkan dari pemasukannya melalui pernafasan maupun oral, proses tersebut kemungkinan kadmium akan terbuang ke dalam lingkungan, kemudian terbawa air maupun udara dan akan menyebar luas ke daerah pertanian dan pemukiman sehingga dapat berpengaruh terhadap kehidupan tanaman, hewan maupun melalui rantai makanan. Apabila timbal dan zink berada dalam satu lingkup oleh kadmium, maka kadmium akan mengalami peningkatan kadar toksisitas kadmium tinggi. Kadar kadmium sebaiknya sekitar 0,0002 mg/l (Moore, 1991; Effendi, 2000).

Pada lingkungan, persenyawaan logam kadmium yang ditemui di daerah penimbunan sampah dan aliran air hujan. Logam kadmium membawa sifat racun yang merugikan bagi semua organisme termasuk manusia, hewan dan tumbuhan. Kelarutan kadmium dalam konsentrasi tinggi dapat membunuh biota perairan yang akan mengalami kematian dalam waktu 1-21 hari, apabila dalam badan air rentang konsentrasi kadmium dalam perairan 0,005-0,15 ppm pada golongan

Crustacea. Pada golongan Insecta mengalami kematian 1-28 hari dalam rentang konsentrasi kadmium 0,0028-4,6 ppm (Darmono, 1995).

Logam kadmium juga mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup. Kadmium terakumulasi pada hewan yang hidup di tanah, dimana dalam tubuh mereka telah terpapar logam, kadmium yang terakumulasi akan ditransfer oleh *got wall* (celah dinding atau kulit). Persenyawaan kadmium yang terdapat di udara dalam bentuk partikular, dan diserap oleh tumbuhan. Tumbuhan akan menyerap partikular kadmium yang akan mengalami peristiwa hambatan terhadap penyerapan zat besi yang dibutuhkan oleh klorofil tumbuhan (Apha, 1995).

### **2.3 Tinjauan *Chlorella* sp.**

#### **2.3.1 Klasifikasi *Chlorella* sp.**

Klasifikasi *Chlorella* sp. menurut Prabowo (2009) adalah sebagai berikut :

Divisi : Chlorophyta

Class : Chlorophyceae

Ordo : Chlorococcales

Family : Oocystaceae

Genus : *Chlorella*

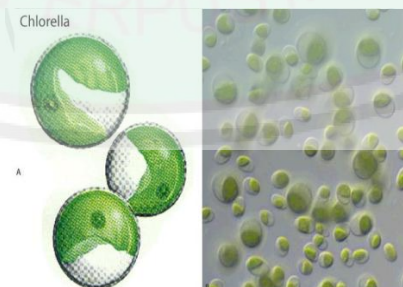
Spesies : *Chlorella* sp.

#### **2.3.2 Morfologi *Chlorella* sp.**

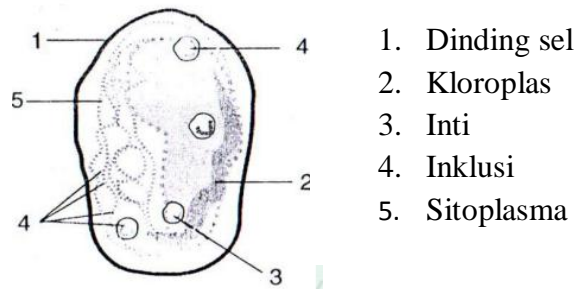
*Chlorella* sp. dikategorikan dalam kelompok alga hijau yang memiliki 450 genera dan jumlah spesies sekitar 7500 lebih. Kata *Chlorella* berasal dari bahasa latin "*Chloros*" yang berarti hijau dan "*ella*" kecil. Alga *Chlorella* sp. ini,

memiliki zat kandungan hijau yang tinggi (*Chlorophyll*) bahkan melebihi jumlah zat yang dimiliki oleh tumbuhan tingkat tinggi. Hal ini berdasarkan kemiripannya dalam pigmen fotosintesis, penyimpanan tepung dan struktur organel kloroplas (adanya tumpukan lamella fotosintesis) (Bold dan Wynne, 1985). Hal ini sesuai dengan Zahra (2003) mengatakan bahwa *Chlorella* adalah jenis alga yang memiliki zat bewarna hijau yang biasa disebut *chlorophyll*, berfungsi sebagai katalisator dalam proses fotosintesis. Bentuk sel *Chlorella* sp. umumnya berbentuk bulat termasuk bersel tunggal (uniseluler) dan kadang-kadang bergerombol. Diameter *Chlorella* sp. biasanya berukuran sekitar 2-12 mikron, *Chlorella* sp. merupakan organisme eukariotik dengan dinding selnya keras yang terdiri dari selulosa, pektin dan protoplasmanya berbentuk seperti cawan. Sel *Chlorella* sp. mengandung banyak 50% protein, lemak dan vitamin A, B, D, E dan K. Pigmen hijau pada *Chlorella* sp. disebabkan sel mengandung klorofil a dan b dalam jumlah besar dan juga mempunyai karoten dan xantofil (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

Adapun morfologi *Chlorella* sp. disajikan pada gambar berikut ini:



Gambar 2.1 Bentuk umum morfologi *Chlorella* sp. (Prabowo,2009)



Gambar 2.2 Struktur morfologi *Chlorella* sp. (Alim dan Kurnistuty, 1995)

Kelimpahan mikroalga ini didapatkan dengan jumlah individu persatuan volume. Mikroalga merupakan tumbuhan yang sering dijumpai di perairan, tetapi karena ukurannya mikroskopis sehingga sulit untuk dilihat tanpa bantuan alat bantu penglihatan. Jumlahnya bisa mencapai ribuan hingga jutaan sel per liter, jumlah individu dapat berlimpah pada lokasi tertentu, sedangkan pada lokasi lain di perairan yang sama jumlah sedikit. Distribusi mikroalga ini di perairan yang tidak homogen disebabkan oleh adanya arus, unsur hara dan aktifitas pemangsaan (Merizawati, 2008).

*Chlorella* mampu hidup dan berkembang disemua tempat atau lingkungan, kecuali tempat atau lingkungan yang sangat ekstrim atau kritis untuk kehidupan makhluk hidup. Menurut Bold dan Wynne (1985) menerangkan bahwa habitat *Chlorella* sp dapat dibedakan menjadi 2 yaitu, *Chlorella* air tawar dan *Chlorella* air laut. *Chlorella* air tawar dapat hidup dengan kadar salinitas yang tinggi sekitar 5 ppt, sementara *Chlorella* air laut dapat mentolerir kadar salinitas antara 33-40 ppt. Sedangkan menurut Prihantini (2005) *Chlorella* sp merupakan mikroalga yang kosmopolit yang dapat tumbuh dimana-mana, dengan sebagian besar hidup di lingkungan akuatik baik perairan tawar maupun payau dan hidup ditempat yang lembab. Hal ini mengasumsikan bahwa beberapa *Chlorella* air laut dapat

mentolerir kadar salinitas yang relatif bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan. Tumbuh optimal salinitas berkisar antara 0 ppt dan 60 ppt, seperti *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella virginica* dan lainnya (Hirata, 1981 dalam Rostini, 2007). Umumnya *Chlorella* seperti ini bersifat planktonia yang melayang dalam perairan, akan tetapi ada beberapa jenis *Chlorella* yang dapat bersimbiosis dengan lainnya misalnya Hydra dan Ciliata, pada *Chlorella* air tawar juga dapat bersimbiosis dengan *Paramecium bursaria* (Dolan, 1992).

Menurut literatur Shah *et al*, (2003) *Chlorella* dapat hidup dan tumbuh dalam kondisi yang kurang cahaya atau tidak terkena cahaya matahari dengan cara mengambil bahan-bahan organik secara langsung dari media tumbuhnya. Pada spesies *Chlorella* mampu tumbuh baik di airlaut maupun tawar. Sedangkan secara umum *Chlorella* merupakan organisme air tawar yang dapat beradaptasi pada salinitas dan suhu yang rentan dan mudah dikultur dengan air laut yang telah diberi campuran pupuk.

*Chlorella* sp. juga dapat tumbuh pada kondisi yang ekstrim dan dapat bertahan terhadap pengaruh dari luar dengan waktu yang lama (Widiyani, 2014 dalam Zahir, 2011). *Chlorella* juga dapat dimanfaatkan sebagai pakan ikan, suplemen makanan, bahan penawar penyakit, bahan untuk biofuel dan bioremediator (Kurniawan dan Aunurrohim, 2013). Selain ini juga sering dimanfaatkan untuk mengetahui pengaruh logam berat karena kemampuan tumbuh *Chlorella* sp. pada lingkungan tercemar. *Chlorella* sp. merupakan agen mikroalga yang dapat dijadikan sebagai bioremediator karena mengandung protein dan polisakarida yang berperan penting dalam proses biosorpsi ion logam

berat sampai batas konsentrasi tertentu tanpa menyebabkan keracunan pada organisme tersebut. Hal ini dikarenakan terjadinya suatu ikatan kovalen antara ion logam berat dengan gugus asam amino dan gugus karbonil. Apabila pada konsentrasi yang tinggi dapat mengakibatkan keracunan sehingga akan berdampak pada penurunan populasi *Chlorella* sp. itu sendiri (Volesky, 2000 dalam Suhendrayatna, 2001).

### 2.3.3 Reproduksi *Chlorella* sp.

Pada *Chlorella* sp. reproduksi terjadi dengan cara aseksual, yakni dengan pembentukan autospora yang mirip dengan sel induknya. Perkembangbiakan sel diawali dengan pertumbuhan sel yang membesar dan selanjutnya terjadi peningkatan aktivitas sintesa sebagai persiapan pembentukan autospora yang merupakan tingkat pemasakan akhir yang akan disusul dengan pelepasan autospora. Sel *Chlorella* sp. berkembang biak dengan cara vegetatif dengan masing-masing sel induk membelah dan menghasilkan 4, 8 atau 16 autopsora yang dibebaskan bersama dnegan pecahnya dinding sel induk (Bold danWynne, 1985), dan kemudian akan melepaskan diri dari induknya (Kawaroe *et al.*, 2010).

Ada beberapa tahapan pertumbuhan *Chlorella* sp. ada 4 tahapan pertumbuhan menurut (Priyambodo, 2001) yaitu:

1. Tahap pertumbuhan, dalam tahap ini *Chlorella* tumbuh menjadi lebih besar
2. Tahap pemasakan awal yaitu, pada tahap ini terjadi peningkatan peningkatan aktivitas sel yang merupakan persiapan awal pembentukan autospora atau sel anakan.
3. Tahap pemasakan akhir, dalam tahap ini terjadi pembentukan autospora atau sel induk muda.

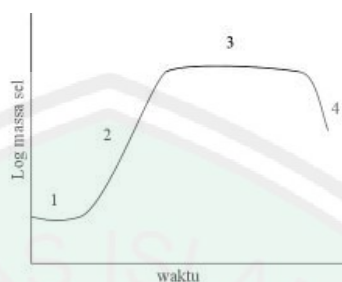
4. Tahap terakhir yaitu tahap pelepasan autospora atau tahap pelepasan sel, pada tahap ini dinding sel induk akan pecah dan terlepas yang akan tumbuh menjadi sel baru.

#### **2.3.4 Fase Pertumbuhan *Chlorella* sp.**

Pertumbuhan *Chlorella* sp. pada media kultur bisa diamati dengan cara mengamati pertambahan jumlah kelimpahan sel individu dalam satuan tertentu atau dengan cara melihat pertambahan besar ukuran sel *Chlorella* sp. seringkali yang digunakan adalah cara pertama dengan melihat atau mengamati jumlah kelimpahan selnya, sehingga mudah dihitung kelimpahannya dengan menggunakan *haemocytometer*.

Fase pertumbuhan pada *Chlorella* sp. ini dibagi menjadi empat fase yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner dan fase kematian. Fase lag merupakan penambahan jumlah densitas mikroalga sangat rendah, fase ini terjadi akibat karena sel-sel mikroalga masih dalam proses adaptasi. Fase eksponensial terjadi akibat adanya penambahan kepadatan jumlah sel mikroalga ( $N$ ) dalam waktu ( $t$ ) dengan kecepatan tumbuh ( $\mu$ ). Fase stasioner terjadi adanya faktor pembatas dan kecepatan pertumbuhan yang bersifat seimbang. Fase terakhir atau biasa disebut dengan fase kematian, pada fase ini terjadi akibat adanya kualitas fisik dan kimia kultur berada pada titik dimana sel tidak mampu mengalami pembelahan (Fachrullah, 2011). Menurut Wijoseno (2011), Mikroalga jenis *Chlorella* sp ini memiliki waktu regenerasi yang cepat dalam waktu yang relatif singkat, perbanyakan sel akan terjadi secara cepat apabila tersedianya cahaya dan sumber energi yang cukup.

Berikut ini merupakan pola pertumbuhan *Chlorella* sp. dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kurva Pertumbuhan *Chlorella* sp. (<https://wordpress.com> diakses tanggal 11 mei 2019)

Pertumbuhan populasi fitoplankton tergantung pada selisih antara sel baru yang dihasilkan dengan rata-rata sel yang mati. Sel baru yang diproduksi, sebagian besar tergantung pada cahaya dan ketersediaan nutrisi (Sze, 1993). Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella* sp. sangat erat dengan ketersediaan unsur hara makro dan mikro yang dapat berpengaruh seperti, cahaya, suhu, pH, air dan salinitas. Cahaya merupakan sumber energi untuk fotosintesis (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

Salah satu unsur hara nutrisi dalam pertumbuhan *Chlorella* yang digunakan yakni ekstrak tauge, merupakan salah satu sumber media alami yang dapat digunakan untuk media pertumbuhan mikroalga. Media ini mengandung berbagai unsur hara makro dan mikro, vitamin, mineral serta asam amino yang dibutuhkan bagi pertumbuhan mikroalga. Kisaran pH media kultur yang sesuai bagi *Chlorella* tergantung pada jenis media. Dalam pertumbuhan *Chlorella*



membutuhkan pH berkisar antara 4,5-9,3. Intesitas cahaya untuk *Chlorella* umumnya berkisar 1000-4000 lux (Prihantini, 2005).

## 2.4 Bioremediasi

Bioremediasi ialah suatu proses metode biologi yang digunakan untuk membersihkan polutan berbahaya kimia yang tercemar di lingkungan dengan menggunakan mikroorganisme atau makhluk hidup untuk mendegradasi materi berbahaya menjadi materi yang kadar bahayanya berkurang. Metode ini banyak digunakan dikarenakan relatif ramah lingkungan dan sangat efisien dan mudah di aplikasikan terhadap lingkungan seperti halnya pencemaran di lingkungan akibat adanya industri minyak, pengawetan kayu dan pencemaran tanah. Penelitian bioremediasi ini telah berkembang pesat diberbagai negara maju dan menjadi suatu bidang intensif penelitian dan pengembangan dalam wilayah perindustrian (Nugroho, 2017).

Bioremediasi adalah detoksifikasi polutan yang terdapat dalam lingkungan dengan bantuan tumbuhan dan mikroorganisme seperti alga, yeast dan jamur. Detoksifikasi merupakan proses penurunan atau mengurangi kadar beracun dalam tubuh. Bioremediasi juga dapat diartikan sebagai proses pendegradasi biologis dari sampah organik pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau kadar konsentrasinya dibawah batas yang ditentukan oleh lembaga yang berwenang (Waluyo, 2018).

Menurut Citroreksoko (1996) menjelaskan bahwa bioremediasi merupakan proses pendegradasian bahan organik berbahaya menjadi senyawa lain seperti karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metan dan air. Sedangkan menurut Crawford (1996),

bioremediasi yaitu merujuk pada proses penggunaan secara produktif untuk menghilangkan atau mendetoksi polutan (sedimen, air) yang mencemari lingkungan dan mengancam kesehatan masyarakat.

Bioremediasi dapat memanfaatkan mikroorganisme seperti fungi, yeast, alga dan bakteri sebagai bioremediatornya. Pemerintah memiliki payung hukum dan standar baku mutu kegiatan pertambangan dan permasalahan lingkungan melalui Kep. MenLH No. 128 Tahun 2003 tentang tata cara dan persyaratan teknis dan pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologi yang dilakukan dengan menggunakan mikroba lokal. Mikroorganisme zat pencemar atau polutan menjadi bahan yang tidak berbahaya dan beracun. Bahan pencemar atau polutan dapat dibedakan berdasarkan kemampuan terdegradasi di lingkungannya yaitu (Citroeksoko,1996) :

- a. Bahan pencemar yang mudah terdegradasi (*biodegradable pollutant*), bahan yang mudah terdegradasi di lingkungan dan dapat di dekomposisi dan menjadi dekomposer.
- b. Bahan pencemar yang lambat terdegradasi (*nondegradable pollutant*), yaitu menimbulkan masalah pada lingkungan seperti, jenis logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd) dan merkuri (Hg).

Teknik bioremediasi untuk mendukung daya kerja mikroorganisme menjadi 2 kategori menurut Nugroho (2017) yaitu: *in situ* dan *ex situ*. Bioremediasi *in situ* yaitu proses pengolahan limbah yang mengandalkan mikroorganisme yang terdapat di lokasi tercemar ringan. Bioremediasi *ex situ* yaitu yang dilakukan di lahan atau air yang terkontaminasi kemudian diolah dan di proses pada lahan khusus yang telah disiapkan untuk proses bioremediasi.

Manfaat bioremediasi ini tidak hanya pada bidang lingkungan saja, akan tetapi ada pada beberapa bidang seperti bidang ekonomi, bidang industri dan lain-lainnya. Menurut Yanuhar (2016) ada beberapa manfaat bioremediasi yang luar biasa pada berbagai bidang seperti bidang lingkungan, bidang industri, bidang ekonomi, bidang ekonomi dan bidang kesehatan.

## 2.5 Pemanfaatan *Chlorella* sp. dalam bioremediasi logam berat

Penggunaan mikroalga jenis *Chlorella* sp. sebagai penelitian untuk mengatasi pencemaran limbah di perairan dengan cara yang disebut bioakumulasi. Bioakumulasi dapat diartikan sebagai pengangkutan bahan pencemar, baik organik maupun anorganik ke bagian dalam sel hidup (Barron, 1995), menurut Chojnacka (2005) menjelaskan proses bioakumulasi melibatkan dua tahap, pertama penyerapan terhadap permukaan sel dan kedua merupakan proses pengangkutan aktif melalui membran sel ke bagian dalam sel. Pernyataan ini juga dijelaskan oleh Moreno (2000) dalam Rahmadiani dan Aunurrohim (2013) bahwa penyerapan logam berat oleh mikroalga dapat melalui dua jalur yaitu pengikatan pada dinding sel (adsorpsi) dan penyerapan logam ke dalam sel (absorpsi).

Proses penanggulangan limbah logam berat ada beberapa cara salah satunya yaitu dengan memanfaatkan mikroorganisme seperti bakteri, yeast, fungi dan alga yang dapat hidup di daerah tercemar logam berat dan dapat menyerap, menyimpan, mendetoksifikasi atau menghilangkan logam berat. Proses tersebut merupakan salah satu proses penyerapan logam berat secara umum oleh mikroorganisme disebut biosorpsi. Biosorpsi logam berat oleh mikroorganisme dapat terjadi melalui dua proses yaitu secara pasif (adsorpsi) dan secara aktif (absorpsi). Adanya suatu molekul gas atau larutan yang disebut adsorbat dan

prosesnya dinamakan adsorpsi atau penyerapan. Proses adsorpsi ion logam pada mikroalga melalui mekanisme pengikatan ion-ion logam dengan melalui cara seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi (Fatriyah, 2007).

Proses adsorpsi dilakukan dengan dua cara yaitu, pertama adsorpsi secara fisis dengan terbentuknya ikatan antara adsorben dan adsorbat. Adsorpsi secara kimia terjadi melalui dengan terbentuknya ikatan dengan sejumlah gugus kimia (hidroksil, karboksil dan gugus amino) yang terdapat di permukaan sel mikroalga, dan kedua terjadi pertukaran ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg dan Ca pada dinding sel yang diganti oleh ion-ion logam berat (Kurniawan dan Aunurrohim, 2014).

Penelitian terkait akumulasi mikroalga yang dilaporkan oleh Soeprbowati dan Hariyati (2017) bahwa *Chlorella pyrenoidosa* memiliki kinerja yang sangat baik pada penghilangan Cr, Cu, Pb, dan Cd lebih dari 80%, dan memiliki *Bio Concentration Factor* (BCF) lebih tinggi. Hal ini dikarenakan *Chlorella* sp juga bersifat selektif dalam pengambilan ion logam berat karena adanya ikatan yang kuat antara pasangan ion logam berat dan komponen sel, khususnya protein.

Adsorpsi terjadi melalui dua proses yaitu pertukaran ion dan pengikatan ion logam berat oleh gugus fungsi yang terdapat pada permukaan sel. Dinding sel mikroalga umumnya terdiri dari selulosa yang memiliki gugus fungsional seperti hidroksil yang berikatan dengan logam berat (Nakajima et al,1981).

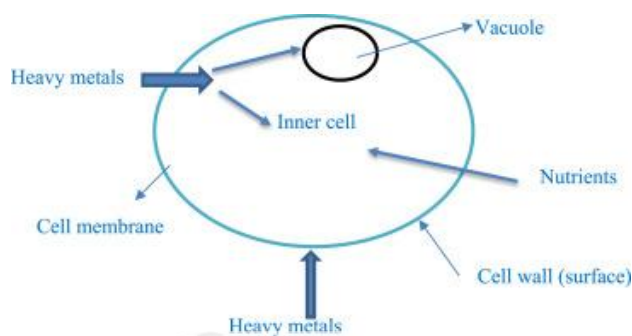
Menurut Dewi dan Gultom (2009), *Chlorella* sp dapat tumbuh dan berkembang biak di air tercemar dan alga jenis ini memiliki kemampuan menyerap logam-logam berat seperti Pb, Cd, Cu dan lainnya dengan cara penyerapan melalui permukaan selnya, karena adanya proses adsorpsi.

Pengambilan ion logam berat oleh *Chlorella* sp secara selektif disebabkan oleh adanya ikatan yang kuat antara pasangan ion logam berat dan komponen sel, khususnya protein (Nakajima *et al.*, 1981).

## 2.6 Mekanisme *Chlorella* sp. dalam mengakumulasi logam kadmium

Bioakumulasi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk menangani limbah logam berat. Mekanisme proses bioakumulasi merupakan dengan pengikatan ion-ion logam pada struktur sel mikroalga khususnya dinding sel. Pengikatan ini disebabkan oleh beberapa macam cara, yaitu sistem transport aktif kation, ikatan permukaan. Mekanisme diatas tidak lepas dari karakter anion dan sifat fisikokimia dari dinding sel, sehingga ion logam berat (kation) mampu diikat secara adesi (Atlas dan Bartha, 1993; Mallick dan Rai, 1992).

Proses akumulasi logam berat oleh mikroalga terjadi didasarkan atas absorpsi logam berat. Absorpsi logam berat oleh mikroalga dapat dibagi menjadi 2 yaitu *passive uptake* dan *active uptake*. *Passive uptake* dikenal dengan istilah biosorpsi, karena pada saat ion logam berat tersebar pada permukaan sel, ion akan mengikat pada bagian permukaan sel berdasarkan kemampuan afinitas kimia. Proses ini terjadi ketika ion logam mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion dimana ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat, kedua adalah ikatan kompleks antara ion-ion logam berat dengan grup fungsional seperti *carbonyl*, *amino*, *thiol*, *hydroxy*, *phosphate* dan *hydroxy-carbonyl* yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak balik dan cepat. Proses bolak balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomass (Suhendrayatna, 2001).



Gambar 2.4 Absorption and adsorption scheme mechanism from a microalgae cell (Kaplan, 2013).

*Active uptake* dapat terjadi di berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini terjadi dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme dan akumulasi intraselular ion logam tersebut. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitifitasnya terhadap parameter-parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya, dan lainnya. Di sisi lain, mikroorganisme yang tahan terhadap efek racun ion logam akan dihasilkan pada prosedur seleksi yang ketat terhadap pemilihan jenis mikroorganisme yang tahan terhadap kehadiran ion logam berat (Adi dan Nana, 2010).

Adsorpsi terjadi melalui dua tahap, yakni pertukaran ion dan pengikatan ion logam berat oleh gugus fungsi yang terdapat pada permukaan sel. Dinding sel mikroalga umumnya terdiri atas selulosa yang memiliki gugus fungsional seperti hidroksil yang dapat berikatan dengan logam berat (Kauner dkk, 1997; Fauziyah, 2011).

Proses adsorpsi terjadi karena molekul-molekul kecil yang utama dalam alg, tanaman dan mikroorganisme lainnya berperan sebagai peptida kaya sistein yang disebut fitokelatin. Fitokelatin berfungsi sebagai pembentuk ikatan kompleks dengan logam berat dalam tumbuhan sekaligus berfungsi sebagai bahan

detoksifikasi tumbuhan terhadap logam berat. Apabila tumbuhan tidak mampu mensintesis fitokelatin, maka pertumbuhan akan terhambat dan dapat berujung pada kematian. Fitokelatin disintesis dari suatu turunan tripeptida (*glutation*) yang tersusun dari glutamat, sistein, dan glisin. *Glutation* ada pada hampir seluruh sel. Jika di lingkungannya teremediasi oleh ion-ion logam, maka *glutation* akan membentuk fitokelatin sebagai peptida pengkhelat logam yang akan mengikat ion logam dengan membentuk fitokelatin-M yang selanjutnya akan ditransport dan disimpan kedalam vakuola (Grill et al., 1985).

## 2.7 Kajian keislaman pemanfaatan *Chlorella* sp. sebagai bioremediator

### lingkungan dalam perspektif Islam

Telah nampak kerusakan di muka bumi ini yang sebagian besar diakibatkan oleh ulah tangan manusia sendiri. Salah satu contoh kerusakan di muka bumi ini adalah rusaknya lingkungan (darat, laut dan udara) yang dapat berdampak pada sistem ekologi dan mengurangi nilai keseimbangan lingkungan. Lingkungan merupakan anugerah yang diberi dari Allah SWT kepada seluruh makhluk ciptaan-Nya untuk dimanfaatkan secara baik, dijaga serta dilestarikan sebagai wujud rasa cinta dan sayang kepada Allah SWT terhadap ciptaanya.

Lingkungan hidup terdiri dari dua komponen yang saling berperan salah satunya adalah komponen biotik dan komponen abiotik. Komponen biotik meliputi makhluk hidup seperti manusia, hewan, dan tumbuhan. Sedangkan komponen abiotik itu seperti golongan benda-benda mati misalnya air, udara, tanah, cahaya matahari dan lain sebagainya. Komponen tersebut merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dan dapat membentuk suatu sistem

kehidupan yang dapat disebut ekosistem. Adanya suatu ekosistem akan menjamin keberlangsungan kehidupan makhluk hidup. Apabila lingkungan tidak dijaga secara baik akan mendatangkan malapetaka atau kehancuran, pencemaran dan kerusakan secara disengaja maupun tidak disengaja, sebagaimana dalam firman Allah surat As-Syu'ara (26); 152:

الَّذِينَ يُفْسِدُونَ فِي الْأَرْضِ وَلَا يُصْلِحُونَ ﴿١٥٢﴾

*Artinya: "Yang membuat kerusakan di muka bumi dan tidak mengadakan perbaikan".*

Dalam *Tafsir al-Misbah* menjelaskan maksud dari ayat tersebut yaitu mereka yang selalu membuat kerusakan di bumi Allah dan tidak melakukan perbaikan memakmurkan negeri (Shibab, 2002). Firman ini menjelaskan tentang adanya kerusakan dimuka bumi seperti pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh beberapa industri yang tidak bertanggung jawab atas perlakuan membuang hasil limbah industrinya ke aliran sungai terdekat. Hal ini akan berdampak kepada lingkungan sekitarnya dan mempengaruhi matinya biota perairan.

Tatanan lingkungan hidup (ekosistem) yang diciptakan Allah SWT mempunyai payung hukum keseimbangan (equilibrium). Hubungan timbal balik antara manusai dengan komponen-komponen yang di alam harus saling berlangsung dalam batas keseimbangan. Apabila ada sedikit gangguan terhadap keseimbangan dalam lingkungan hidup (ekosistem), maka akan mengakibatkan adanya kerusakan lingkungan termasuk karena adanya pencemaran logam berat (Suriyani dan Khotijah, 2013) yang disebabkan dari buangan limbah industri.

Jumlah logam berat dalam lingkungan bisa berkurang atau bertambah, hal ini tidak terlepas dari aktivitas manusia yang dapat mencemari lingkungan dan merugikan manusia itu sendiri. Dalam firman Allah telah dijelaskan bahwa Allah



menciptakan unsur logam berat dengan kadar yang seimbang di alam, surat al-Mulk (67):3 :

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا ۗ مَا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفْوُتٍ ۗ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ ﴿٣﴾

Artinya: “Yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis, kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang. Adakah kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang?” (QS. Al-Mulk (67):3).

Dalam *Tafsir Al-Misbah*, menurut Shihab (2002) kata “*Tafawudz*” pada mulanya yang berarti kejauhan. Ada dua hal yang berjauhan mengesankan ketidaserasian dan keseimbangan. Bahwa Allah menciptakan langit bahkan seluruh makhluk dalam keadaan seimbang sebagai rahmat, karena seandainya ciptaan-Nya tidak seimbang maka akan terjadi kekacauan antara yang satu dengan yang lainnya yang akan mengganggu kenyamanan hidup manusia di muka bumi ini. Demikian Allah telah mengatur rincian ciptaan-Nya sehingga masing-masing menuju kepada tujuannya.

Maksud dari ayat diatas dapat disimpulkan bahwa Allah SWT telah menciptakan langit dan bumi beserta isinya, agar manusia dapat melakukan keberlangsungan makhluk hidup di lingkungannya. Allah menciptakan segala sesuatunya dengan porsi yang sesuai (seimbang). Apabila kadar logam berat tidak seimbang dan melebihi batas ambang baku mutu akan berdampak buruk bagi lingkungan sekitar yang menyebabkan terganggunya lingkungan hingga menjadi lingkungan yang tidak seimbang. Maka dari itu, pertanggung jawaban sebagai manusia yang diberi kewenangan tugas sebagai khalifah oleh Allah dalam menjaga semua makhluk hidup dalam kekuasaannya yang tidak berlebihan

dialam. Salah satu contoh menjaga lingkungan dengan cara memanfaatkan sumber dayanya salah satunya *Chlorella* sp. yang banyak dimanfaatkan untuk makhluk hidup. Sebagaimana dalam firman Allah SWT surat Al-jatsiyah (45):13:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُۥٓ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَاٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ



Artinya: “Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir.

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah menciptakan alam semesta ini untuk manusia, dengan demikian manusia harus bersyukur atas segala nikmat dan karunia yang telah diberikan termasuk alam semesta dan segala isinya. Tanpa karunia dari Allah SWT, tidak akan ada kehidupan di muka bumi ini. Rasa syukur atas yang diberikan adalah wujud rasa terimakasih kepada Allah, dan dapat diwujudkan dengan cara menjaga dan melestarikan lingkungan hidup (Hariani dan Minarno, 2011).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif dan ekperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) berupa uji akumulasi mikroalga terhadap logam kadmium yang terdiri atas lima macam perlakuan dan tiga kali ulangan pada masing-masing ulangan ditambahkan konsentrasi logam berat yang berbeda-beda yaitu konsentrasi 0, 5, 10, 20 dan 50 ppm.

#### **3.2 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Februari-Mei 2019. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Biokimia dan Pangan Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Selanjutnya akumulasi kadmium dilaksanakan di Balai penelitian dan konsultasi industri Laboratorium penelitian dan konsultasi industri Surabaya.

#### **3.3 Alat dan Bahan**

##### **3.3.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan adalah botol kultur, neraca analitik, pipet tetes, mikropipet, panci ukuran besar, autoklaf, gelas kaca, corong, gelas ukur, *beaker glas*, lampu TL berkekuatan 40 watt, *aluminium foil*, plastik wrap, erlenmeyer, selang, aerator, mikroskop, haemocytometer, alat tulis, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

##### **3.3.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan adalah isolat *Chlorella sp* dari Pusat Penelitian *Surfactant Bioenergy Research Center* (SBRC) LPPM Bogor. Media

ekstrak tauge, alkohol 70%, akuades,  $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (Kadmium sulfat hidrat) dan  $\text{HNO}_3$  1N.

### 3.4 Prosedur penelitian

#### 3.4.1 Sterilisasi Alat dan Media Kultur

Semua alat yang akan digunakan dalam penelitian ini disterilisasi terlebih dahulu agar terhindar dari kontaminasi oleh mikroorganisme lainnya. Untuk sterilisasi alat-alat gelas dicuci menggunakan sabun pencuci, kemudian dibilas dengan air bersih yang telah dididihkan pada suhu  $100^\circ\text{C}$  dengan cara direbus. Setelah direbus semua alat gelas direndam dengan alkohol 70% dan terakhir dibilas dengan air bersih untuk menghilangkan bau alkohol. Peralatannya ditiriskan atau dikeringkan di meja.

#### 3.4.2 Pembuatan Media Kultur Ekstrak Tauge (MET) *Chlorella* sp.

Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah media ekstrak tauge (MET) 4% dan prosedur pembuatannya mengacu pada Prihantini *et al.* (2005). Perhitungan membuat media ekstrak tauge (MET) 4% menggunakan rumus sebagai berikut Kusrinah (2001):

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

Keterangan:

$V_1$  = volume awal (ml)

$N_1$  = konsentrasi zat mula-mula

$V_2$  = volume setelah pengenceran (ml)

$N_2$  = konsentrasi setelah pengenceran (%)

Media ekstrak tauge merupakan salah satu media alami yang dapat digunakan untuk media pertumbuhan mikroalga. Media ini banyak mengandung unsur vitamin, mineral serta asam amino yang dibutuhkan oleh pertumbuhan mikroalga. Media MET dibuat dengan menimbang 150 gram tauge, dicuci dengan

air hingga bersih dan direbus dalam 1000 ml aquades kedalam panci selama 60 menit hingga mendidih. Setelah direbus, air rebusan tauge disaring terlebih dahulu menggunakan saringan dan kapas secukupnya agar ekstrak terpisah dari tauge, lalu dimasukkan dalam tabung erlenmeyer 1 liter (Prihantini, 2005). Hasil ekstraksi ini selanjutnya disebut sebagai MET dengan konsentrasi 100%. Selanjutnya dilakukan pengenceran hingga menghasilkan konsentrasi akhir MET 4 % yang siap digunakan dalam kultur *Chlorella* sp.

#### **3.4.3 Pemiakan *Chlorella* sp.**

Kultur *Chlorella* sp. dilakukan dengan memanen stok *Chlorella* sebanyak 15 mL dan disentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 10000 rpm. Kultur *Chlorella* dipisahkan dari supernatan dan diambil pelletnya. Sebanyak 1,5 ml pellet *Chlorella* sp. dimasukkan ke dalam gelas kultur yang berisi 148,5 ml MET, dicampur menjadi satu hingga homogen dan selanjutnya diinkubasi selama 10 hari dengan pemberian konsentrasi dengan pencahayaan 14 jam terang dan 10 jam gelap (intensitas cahaya sekitar 1000-4000 lux) pada awal hari ke-0 sampai hari ke-10 (Prihantini, 2005). Hasil biakan ini kemudian digunakan untuk uji pertumbuhan dan akumulasi Cd oleh *Chlorella* sp.

#### **3.4.4 Uji pengaruh perbedaan konsentrasi kadmium yang terhadap pertumbuhan *Chlorella* sp.**

Pengaruh konsentrasi kadmium yang berbeda terhadap pertumbuhan *Chlorella* sp. dilakukan dengan mengkultur *Chlorella* sp. dalam MET yang telah diberi logam Cd dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 0, 5, 10, 20, dan 50 ppm. Masing-masing perlakuan tersebut kemudian diinkubasi selama 10 hari dengan pencahayaan dan suhu seperti yang dijelaskan diatas. Penghitungan kepadatan

*Chlorella* sp. dilakukan setiap hari mulai hari ke 0 hingga ke 10. Penghitungan dilakukan dengan menggunakan *haemocytometer* dan *hand counter*.

Penghitungan jumlah sel *Chlorella* sp. dilakukan dengan mengambil 1 ml kultur dengan menggunakan mikropipet dan ditaruh pada *haemocytometer* serta diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 400 kali. Rumus penghitungan menggunakan metode Small Block (Satyantini dkk, 2012) :

$$\text{Kepadatan sel} = \frac{nA + nB + nC + nD + nE}{5 \times 4 \times 10^{-6}}$$

Keterangan :

nA, nB, nC, nD dan nE : jumlah sel *chorella* pada kotak A, B, C, D dan E

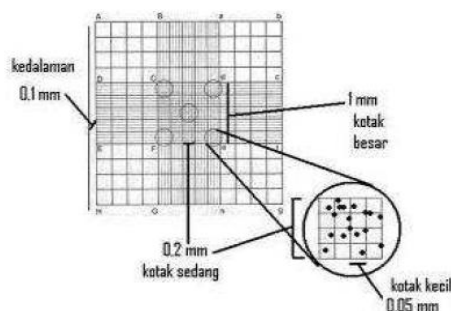
5 : jumlah kotak yang dihitung

$4 \times 10^{-6}$  : luas kotak kecil A, B, C, D dan E

Selanjutnya untuk menghitung presentase penghambatan (%) berdasarkan pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) *Chlorella* sp. dari kontrol dan perlakuan dengan menggunakan persamaan rumus modifikasi (Teoh dan Wong, 2018) sebagai berikut:

$$I_A = \frac{A_c - A_t}{A_c}$$

Dimana  $I_A$  = persentase penghambatan untuk konsentrasi uji i,  $A_c$  = rata-rata laju pertumbuhan spesifik untuk konsentrasi uji kontrol dan  $A_t$  = rata-rata laju pertumbuhan spesifik untuk konsentrasi uji i.



Gambar 3. 1 Pembacaan pada Haemocytometer (Isnansetyo dan Kurniastuty,1995)

Sebelum sel *Chlorella* diamati, ada beberapa metode khusus yang dipakai agar tidak terjadi penumpukan. Metode khusus yang digunakan yaitu dengan dilakukannya aerasi dan pengkocokan terlebih dahulu.

#### 3.4.5 Uji akumulasi logam kadmium oleh *Chlorella sp* menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

Pengujian akumulasi logam kadmium oleh *Chlorella sp.* dilakukan mengacu pada metode yang dikembangkan Romaidi dan Ueki (2016) dengan sedikit modifikasi *Chlorella sp.* pada media ekstrak taube (MET) 15 mL yang diberi perlakuan 0 ppm, 10 ppm, dan 50 ppm dengan pengukuran suhu 37 °C, selama 10 hari dengan pencahayaan 14 jam terang dan 10 jam gelap (Lampiran 2). Untuk uji akumulasi menggunakan konsentrasi kadmium (Cd) 0 ppm merupakan perlakuan kontrol, sedangkan 10 ppm; dan 50 ppm merupakan konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur tingkat toleransi mikroalga *Chlorella sp.* dalam mengakumulasi kadmium (Cd). Konsentrasi akumulasi mengacu pada penelitian Kusuma dan Enny (2012) yaitu mikroalga *Chlorella sp* mampu resisten terhadap logam kadmium hingga 15 mg/l. Sehingga peneliti ingin mengetahui kemampuan akumulasi Cd pada konsentrasi yang lebih tinggi.

Pada hari ke-10 setiap sampel terpilih dari tigaulangan tersebut diambil pada setiap perlakuan dan dimasukkan kedalam tube 15 mL dan kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 15-20 menit untuk memisahkan bibit *Chlorella* sp. Isolat dipindahkan dalam tube yang telah ditimbang berat kosongnya, kemudian sampel disentrifuge 5000 rpm selama 15 menit, dipisahkan pelet dan supernatannya lalu ditimbang berat pelet dan tube. Pelet dipanaskan di dalam oven dengan suhu 65 °C selama 24 jam. Setelah kering, ditimbang berat kering tube dan pelet. Sampel ditambahkan 5ml HNO<sub>3</sub> 1N dan dipanaskan lagi pada suhu 65° C selama 24 jam sampel di sentrifugasi 5000 rpm selama 15 menit. Supernatan digunakan untuk analisis bioakumulasi kadmium (Cd) menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA).

Selanjutnya hasil akumulasi digunakan untuk menghitung persentase absorbansi akumulasi *Chlorella* sp. menggunakan *Atom Absorption Spectrophotometer* (AAS) dengan menggunakan panjang gelombang 265 µM. Perhitungan penyerapan logam menggunakan rumus modifikasi efisiensi (Sigiro, *et al.*, 2016):

$$\text{Efisiensi akumulasi timbal (Pb)} = \frac{C}{D} \times 100\%$$

Dimana C = rata-rata akumulasi untuk konsentrasi uji i, D = persentase total konsentrasi logam timbal yang digunakan untuk membuat larutan stok.

### 3.5 Analisis data

Data jumlah *Chlorella* sp. terhadap kadmium (Cd) yang diperoleh disajikan secara deskriptif kualitatif meliputi isolat *Chlorella* sp yang mampu sebagai bioremediator terhadap kadmium (Cd) Data uji akumulasi kadmium (Cd) yang telah diperoleh dianalisis dengan menggunakan perhitungan rumus efisiensi



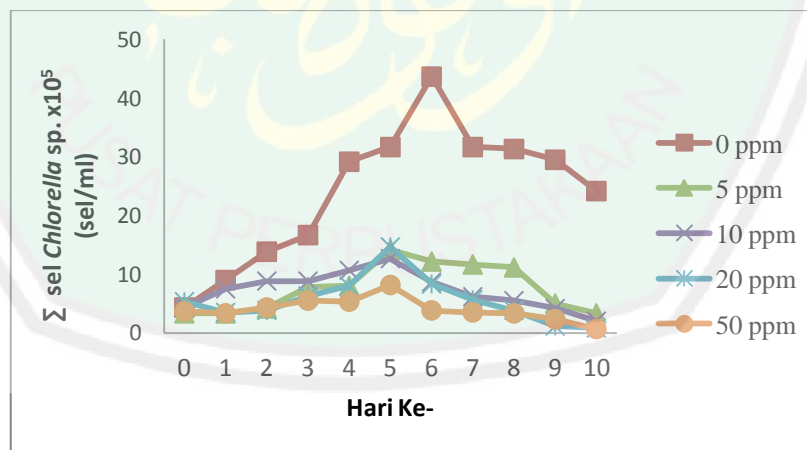
penyerapan dan disajikan berupa tabel. Data pengaruh pemberian konsentrasi yang berbeda terhadap *Chlorella* sp. yang diperoleh dianalisis dengan analisis statistik *One Way Anova*. Apabila perlakuan berpengaruh nyata terhadap parameter maka dilanjutkan dengan uji BNT 0.05. Apabila  $F_{hitung} < F_{tabel}$  ( $Sig > 0,05$ ) berarti tidak terdapat pengaruh pada media pertumbuhan *Chlorella* sp. terhadap kadar logam Cd, dan jika  $F_{hitung} \geq F_{tabel}$  ( $Sig < 0,05$ ) berarti terdapat pengaruh pada media pertumbuhan *Chlorella* sp.

Data hasil penelitian di analisis dan diintegrasikan dengan ayat-ayat Al-Qur'an sehingga diperoleh manfaat dari penelitian yang bersifat ilmiah dan nilai-nilai keislaman, dimana manusia diciptakan sebagai khalifah di bumi yang ditugaskan untuk selalu menjaga dan memanfaatkan alam semesta dengan semestinya.

## BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN

### 4.1 Pengaruh perbedaan konsentrasi logam kadmium terhadap pertumbuhan populasi sel *Chlorella* sp.

Hasil penelitian ini terdiri dari data pengaruh perbedaan konsentrasi logam kadmium (Cd) terhadap pertumbuhan *Chlorella* sp. Pengamatan pertumbuhan *Chlorella* sp dilakukan selama 10 hari dengan tujuan agar dapat mengetahui fase pertumbuhan *Chlorella* sp. Kadmium merupakan salah satu logam yang dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh pertumbuhan *Chlorella* sp. dengan diberi konsentrasi 5 ppm sampai 50 ppm pada media kultur. Data kepadatan pertumbuhan sel rata-rata *Chlorella* sp. disajikan pada (Lampiran 3) dan disajikan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Kepadatan sel *Chlorella* sp pada hari pertama hingga hari kesepuluh

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan jumlah populasi *Chlorella* sp. dengan konsentrasi yang berbeda mulai dari 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm dan 50

ppm. Jumlah populasi *Chlorella* sp. pada setiap perlakuan mengalami fluktuasi selama 10 hari dengan volume 150 ml. Pada perlakuan konsentrasi 0 ppm, menunjukkan fase adaptasi setelah penebaran bibit sebesar  $4,3 \times 10^5$  dicapai pada waktu pertumbuhan hari ke-0, karena fase ini beberapa sel belum tumbuh karena masih dalam kondisi adaptasi dengan media dan kemungkinan proses terjadinya pertumbuhan sangat cepat. Oleh karena itu, jumlah populasi *Chlorella* sp. yang diperoleh masih belum memiliki kecenderungan untuk naik secara eksponensial. Setelah waktu pertumbuhan 3 hari mengalami peningkatan tajam, hal inilah yang disebut fase eksponensial. Fase tersebut terjadi di hari ke-1 dengan jumlah populasi sel sebesar  $9 \times 10^5$  mengalami kenaikan hingga hari ke-5 dengan jumlah populasi sel sebesar  $3,16 \times 10^5$  hal ini disebabkan adanya pertumbuhan yang dipengaruhi oleh kadar nutrien dalam media. Kemudian fase puncak terjadi di hari ke-6 jumlah populasi sel mencapai  $43,5 \times 10^5$ . Selanjutnya fase stasioner terjadi di hari ke-7 dan hari ke-8 dengan jumlah populasi sebesar  $3,13 \times 10^5$ . Selanjutnya fase terakhir dalam penelitian yaitu fase kematian terjadi pada hari ke-9 dengan jumlah populasi sel sebesar  $29,5 \times 10^5$  sampai hari ke-10 dengan jumlah populasi sel sebesar  $24 \times 10^5$  yang ditandai dengan laju kematian *Chlorella* sp lebih cepat dibandingkan laju pertumbuhannya, sehingga pada fase tersebut mengalami penurunan jumlah populasi sel.

Pada perlakuan konsentrasi 5 ppm, menunjukkan fase adaptasi setelah penebaran dengan jumlah populasi sel sebesar  $3 \times 10^5$  dicapai pada waktu pertumbuhan hari ke-0 sampai hari ke-1 dengan jumlah populasi yang sama, karena fase ini beberapa sel belum tumbuh karena masih dalam kondisi adaptasi dengan media dan kemungkinan proses terjadinya pertumbuhan sangat cepat.

Oleh karena itu, jumlah populasi *Chlorella* sp. yang diperoleh masih belum memiliki kecenderungan untuk naik secara eksponensial. Setelah waktu pertumbuhan 3 hari mengalami peningkatan tajam, hal inilah yang disebut fase eksponensial. Fase selanjutnya yakni logaritmik (eksponensial) terjadi hari ke-2 dengan jumlah populasi sel sebesar  $2 \times 10^5$  sampai hari ke-4 dengan jumlah populasi sel sebesar  $8 \times 10^5$  hal ini disebabkan, adanya pertumbuhan yang dipengaruhi oleh kadar nutrisi dalam media. Kemudian fase puncak terjadi pada hari ke-5 dengan jumlah populasi sel sebesar  $14,16 \times 10^5$ . Selanjutnya fase stasioner terjadi hari ke-7 sampai hari ke-8 dengan jumlah populasi sel tidak jauh berbeda sebesar  $11,16 \times 10^5$ . Selanjutnya fase terakhir dalam penelitian yaitu fase kematian terjadi pada hari ke-9 dengan jumlah populasi sel sebesar  $5 \times 10^5$  sampai hari ke-10 dengan jumlah populasi sel sebesar  $3 \times 10^5$  yang ditandai dengan penurunan jumlah populasi *Chlorella* sp lebih cepat dibandingkan laju pertumbuhannya.

Pada perlakuan konsentrasi 10 ppm, menunjukkan fase adaptasi setelah penebaran bibit dengan jumlah populasi sel sebesar  $4,30 \times 10^5$  dicapai pada waktu pertumbuhan hari ke-0, karena fase ini beberapa sel belum tumbuh karena masih dalam kondisi adaptasi dengan media dan kemungkinan proses terjadinya pertumbuhan sangat cepat. Oleh karena itu, jumlah populasi *Chlorella* sp. yang diperoleh masih belum memiliki kecenderungan untuk naik secara eksponensial. Setelah waktu pertumbuhan 3 hari mengalami peningkatan tajam, hal inilah yang disebut fase eksponensial. Fase selanjutnya yakni logaritmik (eksponensial) terjadi hari ke-1 dengan jumlah populasi sel sebesar  $7,5 \times 10^5$  mengalami kenaikan hingga hari ke-4 dengan jumlah populasi sel sebesar  $1 \times 10^5$  hal ini disebabkan

adanya pertumbuhan yang dipengaruhi oleh kadar nutrisi dalam media. Kemudian fase puncak terjadi pada ke-5 dengan jumlah populasi sel mencapai  $12 \times 10^5$ . Selanjutnya fase stasioner tidak terlihat dalam pengamatan, hal ini disebabkan adanya penghentian pertumbuhan sel *Chlorella* sp yang dapat dilihat (Gambar4.1) setelah hari ke-5 mengalami penurunan yang sangat tajam hingga hari ke-10 yang merupakan dimana terjadinya fase kematian dengan jumlah populasi sel sebesar  $2 \times 10^5$ .

Pada perlakuan konsentrasi 20 ppm, menunjukkan fase adaptasi setelah penebaran bibit dengan jumlah populasi sel sebesar  $5,3 \times 10^5$  dicapai pada waktu pertumbuhan hari ke-0, karena fase ini beberapa sel belum tumbuh karena masih dalam kondisi adaptasi dengan media dan kemungkinan proses terjadinya pertumbuhan sangat cepat. Oleh karena itu, jumlah populasi *Chlorella* sp. yang diperoleh masih belum memiliki kecenderungan untuk naik secara eksponensial. Setelah waktu pertumbuhan 3 hari mengalami peningkatan tajam, hal inilah yang disebut fase eksponensial. Fase selanjutnya yakni logaritmik (eksponensial) terjadi hari ke-3 dengan jumlah populasi sel sebesar  $7,5 \times 10^5$  mengalami kenaikan hingga hari ke-4 dengan jumlah populasi sel sebesar  $8 \times 10^5$  hal ini disebabkan adanya pertumbuhan yang dipengaruhi oleh kadar nutrisi dalam media. Kemudian fase puncak terjadi pada ke-5 dengan jumlah populasi sel mencapai  $15 \times 10^5$ . Selanjutnya fase stasioner tidak terlihat dalam pengamatan, hal ini disebabkan adanya penghentian pertumbuhan sel *Chlorella* sp yang dapat dilihat (Gambar4.1) setelah hari ke-5 mengalami penurunan yang sangat tajam hingga hari ke-10 yang merupakan dimana terjadinya fase kematian dengan jumlah populasi sel sebesar  $0,8 \times 10^5$ .

Pada perlakuan konsentrasi 50 ppm, menunjukkan fase adaptasi setelah penebaran bibit dengan jumlah populasi sel sebesar  $3,6 \times 10^5$  dicapai pada waktu pertumbuhan hari ke-0 hingga hari ke-1 dengan jumlah populasi sel sebesar  $3,5 \times 10^5$ , karena fase ini beberapa sel belum tumbuh karena masih dalam kondisi adaptasi dengan media dan kemungkinan proses terjadinya pertumbuhan sangat cepat. Oleh karena itu, jumlah populasi *Chlorella* sp. yang diperoleh masih belum memiliki kecenderungan untuk naik secara eksponensial. Setelah waktu pertumbuhan 3 hari mengalami peningkatan tajam, hal inilah yang disebut fase eksponensial. Fase selanjutnya yakni logaritmik (eksponensial) terjadi hari ke-2 dengan jumlah populasi sel sebesar  $4 \times 10^5$  mengalami kenaikan hingga hari ke-4 dengan jumlah populasi sel sebesar  $5,5 \times 10^5$  hal ini disebabkan adanya pertumbuhan yang dipengaruhi oleh kadar nutrisi dalam media. Kemudian fase puncak terjadi pada ke-5 dengan jumlah populasi sel mencapai  $8 \times 10^5$ . Selanjutnya fase stasioner terjadi hari ke-6 dengan jumlah populasi sel sebesar  $3,8 \times 10^5$  sampai hari ke-8 dengan jumlah populasi sel tidak jauh berbeda sebesar  $3 \times 10^5$ . Selanjutnya fase terakhir dalam penelitian yaitu fase kematian terjadi pada hari ke-9 dengan jumlah populasi sel sebesar  $2 \times 10^5$  sampai hari ke-10 dengan jumlah populasi sel sebesar  $0,6 \times 10^5$  yang ditandai dengan penurunan jumlah populasi *Chlorella* sp lebih cepat dibandingkan laju pertumbuhannya.

Pengamatan kurva pertumbuhan *Chlorella* sp. dibuat berdasarkan pengamatan jumlah kepadatan populasi sel selama 10 hari (hari ke-0 sampai hari ke-10) dengan terjadi empat fase yaitu fase lag (adaptasi), logaritmik, stasioner dan kematian. Pada fase lag (adaptasi) diketahui terjadi di hari ke-0 karena, populasi masih mengalami penyesuaian pada lingkungannya dan kemungkinan

beberapa sel belum tumbuh ditunjukkan pada Lampiran 7 (pengamatan hari ke-0) *Chlorella* sp. secara fisiologis sangat aktif dan terjadi proses sintesis protein baru. Hal ini dijelaskan Lay dan Hastowo (1992), fase adaptasi merupakan fase dimana proses penyesuaian sel melainkan ukuran sel dalam lingkungan baru, sedangkan menurut Fadilla (2010) menerangkan bahwa fase adaptasi belum terjadi pembelahan sel secara signifikan sehingga, kepadatan sel belum mengalami peningkatan.

Fase selanjutnya yaitu eksponensial dimana jumlah sel *Chlorella* sp., mengalami peningkatan pertumbuhan yang ditandai penambahan jumlah sel melalui pembelahan sel. Pada pengamatan, fase ini terjadi di hari ke-1 hingga mencapai puncak hari ke-5 dan ke-6, karena kandungan nutrisi awal kultur masih tinggi. Hal ini dijelaskan oleh Chumaidi (1992) bahwa karbon, nitrogen, fosfor, sulfur, natrium dan kalsium merupakan salah satu nutrisi yang diperlukan alga dalam jumlah besar untuk melakukan proses pertumbuhan. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Fadila (2010) berpendapat bahwa laju pertumbuhan fase eksponensial dapat mencapai hasil maksimal karena sel mengkonsumsi nutrisi, dan tempat terjadinya pembelahan sel yang berjalan sangat cepat sehingga, jumlah sel bertambah (Lavens dan Sorgeloos, 1996).

Selanjutnya yaitu fase stasioner yang terjadi pada hari ke-5 hingga hari ke-6 pada semua perlakuan. Fase ini terjadi karena ada penghentian pertumbuhan sel secara total atau adanya keseimbangan antara tingkat pertumbuhan dan kematian. Pada pengamatan penghitungan kepadatan *Chlorella* sp. yang dilakukan setiap 24 jam selama 10 hari menunjukkan fase tersebut kemungkinan terjadi sangat singkat dan cepat, karena ditandai dengan beberapa jumlah sel yang masih tumbuh dan

ada sedikit beberapa sel yang mati akibat memperebutkan nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Menurut Fachrullah (2011) Penambahan dan pengurangan jumlah mikroalga relatif sama atau seimbang sehingga kepadatan mikroalga tetap, hal ini disebabkan oleh kadar nutrisi yang berkurang dan terjadi akumulasi produk toksik mengganggu pembelahan sel (Volk, 1993). Berdasarkan pengamatan kurva tersebut bahwa *Chlorella* sp. mampu memanfaatkan nutrisi yang berasal dari media ekstrak tauge pada konsentrasi 0 mg/l dan logam kadmium pada konsentrasi 5mg/l, 10 mg/l, 20 mg/l dan 50 mg/l.

Fase terakhir yaitu fase kematian terjadi penurunan drastis kepadatan mikroalga dan terjadi perubahan warna kultur yang memudar di setiap perlakuan 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm dan 50 ppm. Hal ini menyebabkan sel-sel *Chlorella* sp. sudah banyak yang mati. Pada pengamatan hari ke-7 hingga hari ke-10 (Lampiran foto pengamatan 8) terjadi perubahan warna di setiap konsentrasi dari konsentrasi 5ppm, 10 ppm, 20 ppm dan 50 ppm yang berubah warna agak putih keruh sedangkan konsentrasi 0 ppm (kontrol) warna berubah menjadi hijau. Hal ini dijelaskan Gandjar (2006) bahwa dalam fase ini pertumbuhan sel-sel *Chlorella* sp. mulai banyak yang melambat dan tidak aktif membelah. Hal ini diperkuat oleh Musa *et al* (2013) kepadatan sel *Chlorella* sp. ditandai dengan perubahan kondisi optimum yang dipengaruhi oleh suhu, cahaya, pH dan beberapa kondisi lingkungan lainnya, sehingga menyebabkan terjadi persaingan tempat hidup karena semakin banyak jumlah sel dalam volume yang tetap. Sedangkan menurut Lavens dan Sorgeloos (1996) bahwa pada fase ini mengalami tingkat kematian lebih cepat dari laju reproduksi sehingga jumlah sel akan menurun. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Pambudi (2001) bahwa

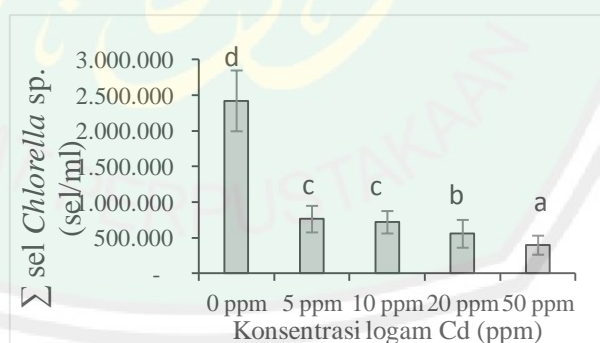


kepadatan populasi yang cukup tinggi akan menyebabkan *self shading* (penutupan diri sendiri) oleh *Chlorella sp.* juga tinggi, karena dalam keadaan ini disebabkan penetrasi cahaya yang masuk kedalam media kultur berkurang, maka proses fotosintesis tidak dapat berlangsung dengan normal dan menyebabkan tingkat kematian semakin tinggi.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi lambatnya pertumbuhan sel *Chlorella sp.* seperti suhu, pH, unsur hara nutrisi dan intensitas cahaya. Menurut Dwijoseputro (1994) menjelaskan bahwa kisaran suhu optimum untuk pertumbuhan fitoplankton adalah kisaran 25°C-32°C. Sedangkan menurut Isnansetyo dkk (1995) kisaran suhu optimal bagi pertumbuhan *Chlorella sp.* antara 25-30°C. Selain dari faktor suhu dan pH, faktor lainnya yang mempengaruhi biomassa *Chlorella sp.* adalah intensitas cahaya (Fulk, 1991), karena *Chlorella sp.* merupakan organisme yang melakukan fotosintesis untuk pertumbuhannya. Hal tersebut dapat mempengaruhi lambatnya pertumbuhan sel, apabila cahaya yang didapat oleh *Chlorella sp* rendah maka laju fotosintesis berjalan sangat lambat dan dapat menyebabkan berkurangnya populasi sel. Selanjutnya faktor kedua yaitu pH, dari hasil pengukuran pH saat pengamatan awal kultur mencapai pH 6, meningkat dihari ke-5 sampai hari ke-10 menjadi pH 8. Hal ini sesuai dengan Round dalam Sidabutar (1999) bahwa pengukuran indikator pH optimum bagi pertumbuhan dalam media kultur antara 7-8. Hal ini diperkuat dengan penelitian Soeprbowati (2012) adalah bahwa pH medium dalam perlakuan berkisar antara 7-8 masih dapat memungkinkan terjadinya biosorpsi karena, sangat mempengaruhi ketersediaan logam berat dalam medium yang berikatan dengan ion lain sehingga menjadi garam terendapkan. Selain suhu

dan pH, faktor lain yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kebutuhan utama fotosintesis yaitu intensitas cahaya. Pada saat pengamatan, pengukuran intensitas cahaya menunjukkan angka 2000 lux meter. Menurut Oh-Hama dan Miyachi (1998) proses fotosintesis membutuhkan intensitas cahaya 2000-30.000 lux meter. Hal ini didukung oleh penelitian Nurdiana (2017) bahwa sumber cahaya yang digunakan untuk kultur *Chlorella* sp. adalah cahaya dari lampu dengan intensitas cahaya 2000 lux meter.

Penelitian tentang pengaruh konsentrasi ion logam kadmium yang berbeda terhadap pertumbuhan populasi sel *Chlorella* sp. yang diperoleh menunjukkan bahwa  $F$  hitung = 387,1046202 dan  $F$  tabel = 3,11 pada taraf signifikan 5%,  $F$  hitung >  $F$  tabel. Hal ini menandakan bahwa terdapat perbedaan yang nyata tentang pengaruh penambahan konsentrasi ion logam kadmium (Cd) terhadap pertumbuhan populasi sel *Chlorella* sp. (Lampiran 4).



Gambar 4.2. Rata-rata pertumbuhan *Chlorella* sp (mg/l) selama 10 hari dengan konsentrasi kadmium (Cd) yang berbeda. Notasi huruf yang berbeda pada gambar menunjukkan adanya pengaruh perbedaan signifikan setiap perlakuan ( $P < 0,05$ )

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa adanya pengaruh pertumbuhan *Chlorella* sp. terhadap pemberian konsentrasi yang berbeda-beda ditunjukkan dengan notasi huruf. Selanjutnya, analisis yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi yang terbaik dalam akumulasi kadmium (Cd) oleh *Chlorella* sp. maka, dilakukan uji lanjut menggunakan uji beda nyata terkecil (BNT) atau *least significance different* (LSD) 0,05. Berdasarkan hasil uji BNT 0,05 dari rata-rata kepadatan populasi *Chlorella* sp. maka didapatkan hasil notasi BNT yang disajikan pada Lampiran 4.

Pada gambar 4.2 diketahui bahwa pertumbuhan populasi *Chlorella* sp. ada perbedaan antara konsentrasi logam kadmium 0, 20 dan 50 ppm menunjukkan pengaruh yang signifikan atau berbeda nyata, sedangkan 5 dan 10 ppm menunjukkan pengaruh yang sama atau tidak berbeda nyata. Perubahan yang dihasilkan dengan urutan konsentrasi 0 ppm > 5 ppm > 10 ppm > 20 ppm > 50 ppm. Rerata kepadatan setiap perlakuan masing-masing didapatkan pada konsentrasi 0 ppm sebesar 2.422.727 sel/ml ( $24,2 \times 10^5$ ), 5 ppm sebesar 765.152 sel/ml ( $7,65 \times 10^5$ ), 10 ppm sebesar 721.212 sel/ml ( $7,21 \times 10^5$ ), 20 ppm sebesar 559.091 sel/ml ( $5,59 \times 10^5$ ), dan 50 ppm sebesar 400.000 sel/ml ( $4 \times 10^5$ ). Ion logam kadmium dari konsentrasi 5,10,20 dan 50 ppm pada medium meningkatkan jumlah populasi sel *Chlorella* sp. hingga hari ke-5, dan kemudian menurunkan populasi sel *Chlorella* sp. di hari ke-6 hingga hari ke-10 pengamatan. Persentase penghambatan (*Growth of inhibition %*) pertumbuhan sel *Chlorella* sp. yang tumbuh pada konsentrasi kadmium yang berbeda yaitu 0 ppm sebesar 0%, 5 ppm sebesar 68%, 10 ppm sebesar 70%, 20 ppm sebesar 77%, dan 50 ppm sebesar 83%.

Pada penelitian yang dilakukan Ryan dan Zulaika (2014) mengemukakan bahwa konsentrasi 0 mg/l menunjukkan persentase sel hidup mencapai 100% dari jam ke-0 sampai jam ke-5. Selanjutnya ion logam kadmium konsentrasi 5 mg/l sampai 50 mg/l mengalami penurunan jumlah sel hidup sampai akhir pengamatan jam ke-5. Hasil uji logam kadmium menunjukkan presentase jumlah sel yang hidup oleh pemaparan ion logam di konsentrasi 15 mg/l dengan jumlah persentase hidup diatas 50% sedangkan konsentrasi 25mg/l – 50 mg/l nilai persentase hidup dibawah 50%. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan ion logam kadmium yang bisa ditolerir oleh *Chlorella* sp. hanya sampai 15 mg/l. Sehingga dikarenakan adanya laju penurunan pertumbuhan yang terbatas tetapi tidak signifikan dengan peningkatan konsentrasi kadmium. Konsentrasi kadmium yang berlebihan mengakibatkan mikroalga tersebut memiliki mekanisme perlindungan terhadap logam beracun untuk mempertahankan hidupnya. Apabila konsentrasi logam tinggi, maka akumulasi dapat menghambat proses pertumbuhan sel (Hala,2012).

Logam kadmium merupakan logam berat yang mampu mensintesis kadmium menjadi enzim karbonik anhidrase (Rusmin, 2005). Enzim ini dapat mengikat jumlah CO<sub>2</sub> yang tersedia untuk fotosintesis karena enzim tersebut merupakan katalis pada reaksi pengubah ion bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) menjadi CO<sub>2</sub> (Graham, 2000). Efek logam berat terhadap sel mikroalga dapat menghambat aktivitas enzim, misalnya enzim yang tersusun asam amino sistein gugus sulfhidrilnya akan tergantikan oleh ion Cd<sup>2+</sup>. Sehingga enzim tersebut kehilangan aktivitasnya. Adanya logam berat didalam sel *Chlorella* sp. seperti Cd, Hg,Cu dan Pb dapat mempengaruhi aktivitas nitrat reduktase dan alkalin fosfatase serta menyebabkan terjadinya perubahan pada struktur protein enzim dan

menyebabkan gangguan pada perangkat fotosintesis (Assche dan Clijsters, 1990). Ion logam kadmium (Cd) memiliki sifat yang hampir sama dengan seng (Zn) sehingga kadmium dapat menggantikan fungsi Zn dalam reaksi enzimasi dan mengubah struktur enzim dan mempengaruhi aktivitasnya. Dalam jumlah yang sangat sedikit Zn dapat berperan dalam mendorong perkembangan pertumbuhan. Sehingga dengan kemampuan logam kadmium yang dapat menggantikan fungsi Zn dalam mensintesis enzim karbonik anhidrase yang menghasilkan ion hidrogen dan digunakan untuk pembelahan sel, sehingga menyebabkan pertumbuhan sel semakin maksimal (Andersen, 2005).

Salah satu agen biologi yang mampu menyerap logam berat terutama kadmium (Cd) adalah mikroalga jenis *Chlorella* sp. salah satu organisme yang dapat digunakan untuk teknik bioremediasi. Penggunaan *Chlorella* sp. ini diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan terhadap logam berat kadmium (Cd) dan menjaga keseimbangan lingkungan. Maka digunakan mikroalga jenis *Chlorella* sp. untuk mengurangi ion logam kadmium yang sesuai dalam surat Shaad (38) ayat 27:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَطْلًا ۚ ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا ۖ فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ

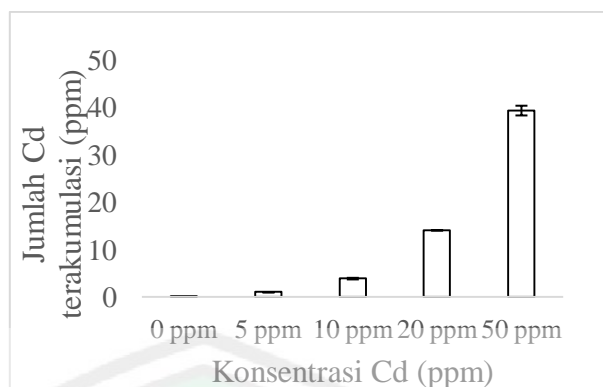
Artinya: “Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah, yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir. Maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka (Qs. As-Shaad(38)27.

Dalam *Tafsir Al-Aisar*, lafadz “*Baathila*” yaitu sia-sia tanpa hikmah tertentu dari penciptaan Allah. Berdasarkan ayat diatas menjelaskan bahwa diciptakannya langit dan bumi serta segala isinya dapat bermanfaat bagi makhluk-Nya dan Allah menciptakan apa-apa yang ada diantara langit dan bumi baik yang diketahui maupun yang tidak diketahui sebagai kesia-siaan (*baathila*) (Al-jazairi, 2007).

Berdasarkan ayat diatas menjelaskan bahwa tidak ada makhluk yang percuma diciptakan oleh Allah SWT. Karena, kehidupan makhluk dan seisinya seperti tumbuh-tumbuhan, hewan maupun manusia berkaitan dengan suatu tatanan lingkungan. Sebagai manusia yang telah diciptakan Tuhan-Nya harus memiliki sifat khalifah yang menjaga, memelihara lingkungan sekitarnya. Untuk itu Allah menciptakan segala sesuatu mengandung hikmah (manfaat) yang dapat diketahui melalui penelitian dengan memanfaatkan mikroalga *Chlorella* sp. sebagai bioremediasi logam kadmium (Cd) dengan metode spektrofotometri.

#### **4.2 Uji kemampuan *Chlorella* sp. dalam mengakumulasi logam berat kadmium yang berbeda**

Berdasarkan hasil penelitian tentang uji akumulasi *Chlorella* sp. terhadap logam kadmium dengan konsentrasi yang berbeda didapatkan hasil bahwa terdapat perbedaan akumulasi kadmium oleh *Chlorella* sp. tersebut. Dalam hal ini, semakin tinggi konsentrasi logam maka semakin besar penurunan logam kadmium, apabila konsentrasinya rendah maka kemampuan *Chlorella* sp. dalam menurunkan logam juga rendah. Semakin tinggi konsentrasi logam maka semakin besar penyerapan logam, sebaliknya jika konsentrasinya rendah maka kemampuan *Chlorella* sp. dalam menyerap juga rendah. Hal ini diduga karena keterbatasan sel dalam beradaptasi di lingkungan yang kurang baik dengan tingginya konsentrasi yang diberikan pada media perlakuan, dapat menyebabkan penurunan biomassa sel seiring tingginya konsentrasi, karena disebabkan oleh kepadatan sel dan sifat-sifat logam kadmium yang lebih toksik.



Gambar 4.3 Rata-rata bioakumulasi kadmium (Cd) oleh *Chlorella* sp (mg/l) dengan konsentrasi yang berbeda selama 10 hari. Notasi huruf yang berbeda pada gambar menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan ( $P < 0.05$ )

Analisa perbandingan ini dilakukan dengan membandingkan jumlah persen penyerapan pada konsentrasi 0 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l, 20 mg/l dan 50 mg/l. Apabila konsentrasi yang terserap oleh *Chlorella* sp. semakin banyak maka, kerapatan sel tertentu akan diketahui konsentrasi logam mana yang lebih efektif diserap dan konsentrasi logam mana yang mampu menunjukkan batas toleransi penyerapan. Dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa konsentrasi 5 ppm jumlah kadmium yang terakumulasi di dalam sel *Chlorella* sp. sebesar 1,05 mg/l (21%) yaitu dari konsentrasi media awal 5 mg/l menjadi 3,95 mg/l, konsentrasi selanjutnya 10 ppm jumlah kadmium yang terakumulasi di dalam sel *Chlorella* sp. sebesar 3,93 mg/l (39%), yaitu dari konsentrasi media awal sebesar 10 mg/l menjadi 6,07 mg/l dan dalam konsentrasi 20 ppm jumlah kadmium yang terakumulasi di dalam sel *Chlorella* sp. sebesar 14,10 mg/l (71%), dari konsentrasi media awal sebesar 20 mg/l menjadi 5,90 mg/l, sedangkan dalam konsentrasi 50 ppm jumlah kadmium yang terakumulasi di dalam sel *Chlorella* sp. sebesar 39,32 mg/l (79%), yaitu dari konsentrasi media awal 50 mg/l menjadi

10,675 mg/l. Tingginya konsentrasi ion logam yang diserap oleh *Chlorella* sp. sesuai dengan penelitian Davis *et,al* (2003) yang dikutip oleh Kurniawan dan Aunurrohim (2014) bahwa biosorpsi logam berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi. Hal ini juga dijelaskan dalam penelitian Dewi dan Nuravivah (2018) dan Siwi, *et al.* (2018) bahwa peningkatan penyerapan (biosorpsi) akan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah konsentrasi ion logam. Hal ini menandakan bahwa terdapat perbedaan terhadap kemampuan akumulasi *Chlorella* sp. yang diberi dengan konsentrasi logam kadmium berbeda, maka didapatkan persentase bioakumulasi yang disajikan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Persentase bioakumulasi ion logam kadmium (Cd) oleh *Chlorella* sp.

| Konsentrasi kadmium (ppm) | Jumlah kadmium terakumulasi (mg/l) | Presentase akumulasi kadmium (Cd) % |
|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 ppm                     | 0,001                              | 0%                                  |
| 5 ppm                     | 1,05                               | 21%                                 |
| 10 ppm                    | 3,93                               | 39%                                 |
| 20 ppm                    | 14,1                               | 71%                                 |
| 50 ppm                    | 39,32                              | 79%                                 |

Pada tabel 4.1 diketahui bahwa akumulasi kadmium oleh *Chlorella* sp. diketahui bahwa ada perbedaan nyata antara konsentrasi 0, 5, 10, 20 dan 50 ppm. Urutan akumulasi ion logam kadmium (Cd) oleh *Chlorella* sp. adalah 50 ppm > 20 ppm > 10 ppm > 5 ppm > 0 ppm. Akumulasi yang didapat tertinggi ada pada 50 ppm sebesar 79%. Pada penelitian Kusuma dan Enny (2014) bahwa hasil pengukuran resistensi *Chlorella* sp. konsentrasi 5 mg/l terjadi peningkatan nilai bioakumulasi seiring dengan bertambahnya waktu pemaparan 24 jam, 48 jam dan 72 jam sebesar 0,02 mg/l, 0,04 mg/l dan 0,04 mg/l. Pada konsentrasi 50 ppm terlihat menurun pada waktu 0 jam, 1 jam, 2 jam, 3 jam dan berturut-turut sebesar 100, 64, 61, 53, 55 dan 44%. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi 50



ppm terkena paparan logam kadmium. Sel yang terkena paparan logam kadmium di lingkungannya, akan rusak dan kemudian mati ditandai dengan bentuk sel yang tidak utuh, lisis dan berubah warna menjadi pucat.

Menurut Rusmin (2005) mengemukakan bahwa adanya gugus hidroksil pada selulosa dinding sel *Chlorella* sp. menyebabkan terjadinya pertukaran ion antara selulosa dengan logam berat kemudian menyebabkan interaksi yang terjadi antara selulosa dengan ion logam tersebut merupakan mekanisme detoksifikasi ekstraseluler. Detoksifikasi adalah proses perubahan logam berat menjadi bentuk tidak beracun. Selain itu, dapat terjadi proses mekanisme detoksifikasi intraseluler, proses ini berlangsung melalui pembentukan protein pengikat logam dan protein yang terdapat di sel *Chlorella* sp. antara lain metalotionein dan fitokelatin. Kedua protein tersebut berikatan dengan logam berat karena memiliki gugus sulfidril (Printo *dkk.*, 2002). Sedangkan Niess (1999) menyatakan bahwa Cd yang berikatan dengan fitokelatin akan membentuk senyawa kompleks yang tidak beracun. Senyawa kompleks tersebut diakumulasi didalam vakuola (organel sel).

Ada beberapa mekanisme penyerapan logam berat kadmium oleh *Chlorella* sp., melalui dua jalur yaitu pengikatan pada dinding sel (adsorpsi) dan penyerapan logam ke dalam sel (absorpsi). Pertukaran ion dan pengikatan ion logam berat oleh gugus fungsi yang terdapat di permukaan sel dinamakan adsorpsi (Devinta *et al*, 2013). Dinding sel mikroalga umumnya terdiri dari selulosa yang memiliki gugus fungsional seperti hidroksil yang dapat berikatan dengan logam berat. Selulosa berfungsi sebagai penangkap ion logam karena gugus OH<sup>-</sup> yang terikat dapat berinteraksi dengan adsorbat, adsorbat adalah logam

kadmium. Adanya gugus  $\text{OH}^-$  tersebut menyebabkan terjadinya pertukaran ion logam kadmium dengan selulosa. Sedangkan, absorpsi terjadi melalui transport aktif dan prosesnya berlangsung lebih lambat daripada adsorpsi. Logam berat yang terabsorpsi akan terakumulasi di dalam sel (vakuola) yang berikatan dengan protein pengikat logam seperti melationin dan fitokelatin, logam berat akan diakumulasi di dalam vakuola.

Sebagian besar dinding sel mikroalga berperan untuk pertukaran air, ion, gas dan nutrisi. Dinding sel *Chlorella* sp. mengandung selulosa, hemiselulosa, pektin dan glikoprotein. Gugus fungsional pada dinding sel yaitu selulosa, pektin dan glikoprotein adalah gugus karboksilat, thiol dan beberapa enzim yang mengandung Zn dapat berinteraksi dengan ion logam Cd melalui ikatan kovalen atau pertukaran ion. Sehingga mekanisme pelekatan logam banyak terjadi di dinding sel (Wang, 2009). Dengan ini adanya nutrisi yang dibutuhkan sel *Chlorella* sp. yang membutuhkan senyawa anorganik seperti N, P, K, Mg, Ca dan Zn untuk pertumbuhannya. Ion Zn akan terikat oleh gugus C=O dan S-H yang merupakan basa lunak. Setiap sel fitoplankton terdapat 260 enzim yang membutuhkan ion logam Zn, yang dapat digantikan dengan ion logam berat seperti Cd sehingga dapat merusak kinerja enzim dan dapat mengganggu jaringan sel pada fitoplankton (Liljas, 1972) yang bertujuan untuk fotosintesis hingga menghambat laju pertumbuhan.

Mikroalga *Chlorella* sp. dapat menyerap ion kadmium. Ion kadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ ) merupakan asam lunak yang dapat bereaksi dengan gugus fungsi yang terdapat di dinding sel *Chlorella vulgaris* seperti gugus fungsi hidroksil yang bersifat basa. Gugus fungsi pada dinding sel *Chlorella vulgaris* berinteraksi kuat

dengan asam yang bersifat lemah seperti ion  $\text{Cd}^{2+}$ , sehingga ion Cd lebih mudah diserap pada dinding sel oleh *Chlorella vulgaris* (Wetipo, 2013). Adanya gugus fungsional yang terdapat di mikroalga yaitu protein yang disebut fitokelatin yang bermuatan positif sehingga terjadi homeostasis dan detoksifikasi logam didalam sel (Scarano, 2002).

Beberapa senyawa organik dalam tubuh fitoplankton termasuk klorofil mampu mengikat ion logam berat dan membentuk senyawa kompleks melalui gugus sulfidril dan amina. Ikatan kompleks tersebut menyebabkan logam berat menjadi lebih stabil dan terakumulasi dalam sel fitoplankton. Namun kandungan senyawa organik yang berperan sebagai ligand tidak sama pada setiap jenis fitoplankton tergantung fisiologisnya (Purnamawati, *et al.*, 2015). Fitokelatin disintesis dari turunan tripeptida (glutathion) yang tersusun dari glutamat, sistein dan glisin. *Glutathion* ada dalam seuruh sel. Jadi, jika terjadi pada lingkungan yang tercemar oleh logam kadmium, *glutathion* akan memebentuk fitokelatin-Cd dan diteruskan ke vakuola (Haryanto dan Agustono, 2004).

Mikroalga dapat mempertahankan hidupnya dengan mekanisme yang melibatkan pembentukan kompleks-kompleks ion logam dengan protein didalam membran sel, sehingga logam akan terakumulasi dalam sel tanpa mengganggu pertumbuhannya. Apabila konsentrasi ion logam tinggi, akumulasi akan menghambat laju pertumbuhan sel, karena sistem perlindungan organisme tidak mampu mengimbangi efek toksisitas logam (Connels,1990). Proses akumulasi ion logam ini cenderung menetap dalam sel karena, nilai konstanta laju pelepasan logam lebih kecil dibandingkan laju penyerapannya. Proses penyerapan dan akumulasi bahan toksik dalam sel akan dipecah dan diekskresikan oleh organisme

tergantung konsentrasi dan potensial bahan kimia tersebut. Bahan kimia yang hidrofilik seperti Cd dapat lebih mudah diekskresikan dibandingkan logam yang hipofilik (Purnamawati, *et al.* 2015).

Penyerapan biosorpsi diawali dengan pengikatan ion logam berat pada gugus sulfur (S) dari asam amino sistein pada dinding sel. Setelah protein reseptor mengenali adanya logam asing (*non esensial*) gen akan mengkode pembentukan metallothioenin (MT). MT yang berikatan dengan logam akan ditransport 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. Apabila MT yang diproduksi didalam organel sel *Chlorella* sp. berfungsi untuk mengikat  $Cd^{2+}$  dan mentransportnya ke dalam vakuola, semakin lama mengalami kejenuhan dan vakuola sebagai tempat penyimpanan logam toksik termasuk kadmium yang berlebihan akan mengalami proses akumulasi (Perales *et al.*, 2005).

Hasil pengamatan kultur *Chlorella* sp. selama 10 hari yang dikultur dalam konsentrasi kadmium (Cd) yang berbeda. Pada perlakuan kontrol (0 ppm), menunjukkan struktur sel *Chlorella* sp. yang tidak terpapar konsentrasi logam berat berbentuk bulat, yang mengandung kloroplas yang ada didalam organel tersebut secara utuh yang berwarna hijau. Hal ini sesuai dengan penelitian Kusuma dan Zulaika (2014) sel *Chlorella* sp. yang hidup ditunjukkan dengan bentuk bulat, utuh dan berwarna hijau. Pada kultur *Chlorella* sp. yang diberi perlakuan 5, 10, 20 dan 50ppm selama 10 hari, terdapat organel sel *Chlorella* sp. yang berbeda dengan kontrol dengan adanya indikasi kerusakan pada organel sel.

Kerusakan ini dengan ditandai berubahnya warna pada sel *Chlorella* sp. dimana sel *Chlorella* sp. pada konsentrasi 0ppm (kontrol) warna sel berwarna hijau dan sedangkan pada perlakuan yang diberi paparan logam kadmium dengan konsentrasi 5 hingga 50ppm terdapat perubahan warna menjadi warna bening. Paparan kadmium mengakibatkan warna hijau pada kloroplas semakin lama menjadi warna bening dan tidak mengandung kloroplas. Menurut Kusuma dan Zulaika (2014) mengatakan bahwa organel sel *Chlorella* sp. ini terganggu apabila kelamaan terpapar logam kadmium akan mati dan berbentuk bentuknya tidak utuh, berwarna pudar (bening) yang tidak mengandung kloroplas dan pecah (lisis).

Berdasarkan hasil pengamatan yang didapat bahwa konsentrasi logam kadmium yang digunakan, terdapat pengaruh kerusakan di dalam sel *Chlorella* sp. yang ditandai dengan perubahan warna pada masing-masing konsentrasi yang berbeda. Peningkatan konsentrasi kadmium mempengaruhi karakteristik fisiologisnya, menurunkan pertumbuhan spesifik, klorofil dan protein (Carfagna, *et al.* 2013). Hal ini dikarenakan adanya konsentrasi tinggi logam kadmium yang dimasukkan ke dalam media kultur yang mengakibatkan sel *Chlorella* sp. mengalami kerusakan organel sel dan mengakibatkan mati.

Kemampuan tumbuh *Chlorella* sp. di lingkungan tercemar, karena *Chlorella* sp. memiliki polyamine untuk adaptasi pada ekosistem air yang tercemar dengan logam berat. Polyamine berperan sebagai molekul yang mampu melindungi tanaman terhadap resiko tekanan dari lingkungan (Hunter, 2012). Hal ini juga dikemukakan oleh Yafeth dkk (2013) *Chlorella* sp. mampu menyerap logam berat (Cu, Cd, Cr dan Zn) dengan baik. Karena, kemampuan tumbuh

*Chlorella* sp. pada lingkungan tercemar memiliki *phytohormon* dan *polyamine* untuk adaptasi pada ekosistem air yang tercemar dengan logam berat.

Kematian sel akibat keracunan diawali proses rusaknya kloroplas. Kerusakan kloroplas menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis. Proses fotosintesis yang terhambat menyebabkan kebutuhan karbon organik esensial yang dibutuhkan berkurang. Selain menyebabkan, kerusakan kloroplas, logam kadmium (Cd) dapat menyebabkan kerusakan mitokondria. Adanya ion logam kadmium di dalam sel dapat meningkatkan produksi *reactive oxygen species* (ROS) dan menghasilkan radikal bebas di dalam sel. Logam kadmium dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan ketidakseimbangan muatan ion protein (Makasau, 2012), karena salah satu gugus amino pada rantai polipeptida (protein) yaitu gugus karboksilnya bermuatan negatif akan mengikat logam  $Cd^{2+}$  yang bermuatan positif membentuk ikatan ligan (Nelson, 2004).

Hal ini juga dikatakan Carfagna *et, al.* (2013) bahwa logam kadmium mempunyai muatan ion positif sehingga ion  $Cd^{2+}$  akan berikatan dengan protein atau enzim di dalam sel yang bermuatan negatif. Salah satu senyawa dalam sel adalah protein atau enzim apabila, ion logam kadmium terikat dengan enzim atau protein maka hal tersebut dapat mengganggu fungsi enzim atau protein. Protein yang berperan yaitu protein sistein sebagai donor dua aseptor elektron, berfungsi sebagai pengikat radikal bebas (ROS), apabila kehadiran ion logam kadmium  $Cd^{2+}$  menyebabkan sistein harus mengikat (ROS) dan ion logam kadmium  $Cd^{2+}$  bersamaan. Jika kehadiran ion logam  $Cd^{2+}$  dalam jumlah berlebihan didalam sitoplasma sel *Chlorella* sp. dapat menyebabkan homeostasis (keseimbangan) *Chlorella* sp. terganggu. Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara induksi

logam kadmium terhadap produksi GSH yang mengandung tripeptida sistein untuk mengikat logam berat yang masuk ke dalam sitoplasma sel *Chlorella* sp. apabila jumlah ion logam kadmium yang diikat oleh sulfhidril sistein berlebihan maka, akan menyebabkan sel terganggu dan akhirnya mati dengan bentuk tidak utuh, pecah (lisis) dan berubah berwarna pudar (bening) tidak mengandung kloroplas. Apabila logam kadmium terakumulasi dalam sel mikroalga, bersifat fitotoksik kuat, menghambat pertumbuhan dan menyebabkan kematian (Arunakuma dan Zhang, 2008).

#### **4.3 Dialog hasil penelitian dalam integrasi Sains dan Islam**

Penelitian yang telah dilakukan dapat dianalisis bahwa: a.) Pengaruh konsentrasi logam kadmium yang berbeda menyebabkan penurunan pertumbuhan *Chlorella* sp. dimana semakin tinggi konsentrasi logam kadmium yang diberikan terhadap kultur *Chlorella* sp. menyebabkan semakin rendah pertumbuhannya. b) *Chlorella* sp. mampu mengakumulasi logam kadmium terbesar dengan konsentrasi 50 ppm sebesar 79%. Dimana semakin tinggi konsentrasi kadmium yang digunakan maka, semakin tinggi pula konsentrasi kadmium yang diserap oleh *Chlorella* sp. Namun apabila dilihat dari nilai presentase penyerapan yang semakin tinggi konsentrasi kadmium yang digunakan maka akan semakin rendah nilai persentase daya serap bioakumulasi konsentrasi kadmium oleh *Chlorella* sp. dari hasil penelitian tersebut, dapat dihubungkan dengan ayat-ayat Al-Qur'an bahwa konsentrasi kadmium yang ada di alam dapat diserap oleh mikroorganisme khususnya mikroalga *Chlorella* sp. logam kadmium di alam yang berlebihan merupakan salah satu kerusakan lingkungan yang dibenci Allah SWT.

Kerusakan lingkungan banyak diakibatkan oleh ulah manusia sendiri, seperti pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan dapat terjadi di tanah, udara, dan air. Salah satu contoh kerusakan lingkungan yang berdampak mengganggu kesehatan lingkungan baik itu hewan, manusia yaitu pencemaran logam berat seperti kadmium (Cd), yang sesuai dengan firman Allah dalam surah Al-Baqarah (2) ayat 11:

وَإِذَا قِيلَ لَهُمْ لَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ قَالُوا إِنَّمَا نَحْنُ مُصْلِحُونَ ﴿١١﴾

Artinya: “Dan bila dikatakan kepada mereka: “Janganlah kamu membuat kerusakan bumi”. Mereka menjawab: “Sesungguhnya kami orang-orang yang mengadakan perbaikan”.

Istilah (*fasaad*) dalam *Tafsir Al-Maraghi* ayat di atas kerusakan di muka bumi adalah kekafiran yang dilakukan menyimpang atau tidak bermanfaat, merosotnya kehidupan dan timbulnya kerusakan di muka bumi ini (Al-Maraghi, 1995). Berdasarkan maksud ayat di atas adalah kerusakan bumi dalam hal ini adalah kerusakan lingkungan salah satunya yakni pencemaran logam berat seperti kadmium yang sering ditemukan di industri-industri (tekstil, baterai, plastik dan elektroplating) dan penggunaan bahan bakar minyak bumi sebagai bahan campuran sebagai zat aditif.

Konsentrasi kadar logam kadmium yang berada di lingkungan akibat adanya pembuangan limbah industri, rumah tangga yang harus ditangani. Karena apabila kesehatan manusia terganggu dapat menyebabkan keracunan, sedangkan kesehatan lingkungan seperti hilangnya keanekaragaman hayati, perubahan komposisi lingkungan, penebangan hutan, konsumsi dan eksploitasi hasil alam berlebihan dapat menyebabkan keseimbangan ekosistem berkurang (Rossidi, 2014). Jumlah logam berat dalam lingkungan bisa berkurang atau bertambah, hal



ini tidak terlepas dari aktivitas manusia yang dapat mencemari lingkungan dan merugikan manusia itu sendiri. Dalam firman Allah telah dijelaskan bahwa Allah menciptakan unsur logam berat dengan kadar yang seimbang di alam, surat al-Mulk (67):3 :

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا ۗ مَا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَوُّتٍ ۗ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ ﴿٣﴾

Artinya: “Yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis, kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang. Adakah kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang?” (QS. Al-Mulk (67):3).

Dalam *Tafsir Al-Misbah*, menurut Shihab (2002) kata “*Tafawudz*” pada mulanya yang berarti kejauhan. Ada dua hal yang berjauhan mengesankan ketidaserasian dan keseimbangan. Bahwa Allah menciptakan langit bahkan seluruh makhluk dalam keadaan seimbang sebagai rahmat, karena seandainya ciptaan-Nya tidak seimbang maka akan terjadi kekacauan antara yang satu dengan yang lainnya yang akan mengganggu kenyamanan hidup manusia di muka bumi ini. Demikian Allah telah mengatur rincian ciptaan-Nya sehingga masing-masing menuju kepada tujuannya. Apabila kadar logam berat tidak seimbang dan melebihi batas ambang baku mutu akan berdampak buruk bagi lingkungan sekitar yang menyebabkan terganggunya lingkungan hingga menjadi lingkungan yang tidak seimbang. Oleh karena itu Allah SWT. menciptakan tumbuh-tumbuhan yang baik untuk menyeimbangkan kadar polutan yang ada di lingkungan ini dengan cara memanfaatkan *Chlorella* sp. sebagai akumulasi logam untuk menghilangkan polutan atau memecah kontaminan, seperti kadmium di lingkungan.

Penelitian tentang uji akumulasi logam kadmium (Cd) menggunakan *Chlorella* sp. dapat disimpulkan bahwa konsentrasi logam kadmium yang berbeda

mempengaruhi penurunan pertumbuhan *Chlorella* sp. selama 10 hari mampu mengakumulasi logam kadmium (Cd) sebesar 79% pada konsentrasi 50 ppm. Oleh karena itu, penggunaan *Chlorella* sp. ini bermanfaat dalam remediasi logam berat kadmium di lingkungan. Penggunaan *Chlorella* sp. ini adalah salah satu cara untuk memperbaiki lingkungan, menjaga, melestarikan lingkungan seperti sungai, waduk, danau dan laut merupakan kewajiban khalifah untuk tidak berbuat kerusakan.

Berdasarkan uraian di atas, kerusakan disebabkan oleh manusia sendiri. Sedangkan, manusia di bumi memiliki sifat sebagai khalifah. Maksud dari khalifah yaitu sifat kekhalifahan untuk memelihara, membimbing dan mengarahkan segala sesuatu agar mencapai tujuan sang pencipta. Dengan kedudukan sebagai khalifah, maka manusia diberi tanggung jawab yaitu menjaga kelestarian dan keberlangsungan makhluk hidup. Apabila manusia melanggar larangan Allah seperti mengurangi dan melebihi ukurannya atau kadar logam kadmium di lingkungan yang telah ditentukan oleh-Nya dapat mengakibatkan pencemaran logam berat kadmium, maka manusia akan mendapatkan akibat yang sesuai dari perbuatannya.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan dalam penelitian ini adalah :

1. Adanya pengaruh pemberian konsentrasi logam kadmium (Cd) terhadap pertumbuhan *Chlorella* sp.
2. *Chlorella* sp. mampu mengakumulasi logam kadmium (Cd) masing-masing pada konsentrasi 5 ppm sebesar 21%, 10 ppm sebesar 39%, 20 ppm sebesar 71% dan pada konsentrasi 50 ppm sebesar 79%.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka adanya saran-saran yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Pada penelitian ini akumulasi logam Cd pada konsentrasi tertinggi hanya sampai 79%, sehingga perlu dilakukan penelitian sama dengan menggunakan analisa konsentrasi Cd yang lebih tertinggi.
2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan waktu kontak
3. Untuk penelitian uji akumulasi perlu dilakukan pengujian lebih lanjut di laboratorium yang berbeda.
4. Perlunya penelitian lanjutan untuk mengetahui lebih mendalam tentang distribusi logam kadmium di dalam sel *Chlorella* sp. dengan menggunakan metode *Scanning Electrone Microscope* (SEM).

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Makassau, Sjahrul, M. dan Jalaluddin, N. 2012. Growth pattern and the toxicity metal ion  $Cd^{2+}$  on Phytoplankton *Nannochloris* in medium conwy. *Research journal of Science and IT management*.
- Ahmad, R.Z. 2008. Mikromediasi menghilangkan polusi logam berat pada lahan bekas tambang untuk lahan peternakan. *Wartazoa*. 28(1): 41-50.
- Albanna, A. 2007. Penentuan kadar Pb (timbal) dalam rambut pekerja SPBU di Kabupaten Klaten berdasarkan lokasi dan masa kerjanya secara spektrofotometri serapan atom. Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Surakarta. *Skripsi*.
- Ali, Abdullah Yusuf. 2009. **Tafsir Yusuf Ali Teks, Terjemahan dan Tafsir Qur'an 30 juz**. Bogor: Litera Antarnusa.
- Allen, H.E, Garrison, A.W and Luther III, G.W. 1998. **Industrial discharges of metals to waters dalam buku metals in surface waters**. Sleeping bear press Inc. Ann Arbor Press. Michigan : USA.
- Al-Qurthubi, syeikh imam. 2009. **Al-jami'li ahkam Al-qur'an**. Jakarta: Pustaka azzam.
- Andersen. 2005. *Alga culturing techniques*. Oxford: Elsevier academic Press.
- Annisa. 2005. Respon *Chlorella pyrenoidosa* terhadap senyawa klorporifos. Departemen Biologi. *Thesis*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Anugrah, Novan. 2017. *Jurnal pencemaran air*. Volume: 2, hal. 1-7.
- Apha. 1995. *Standart method for the examination of water and wastewater 18th (Ed)*. Washington D.C: American Public Health Association.
- Arunakumara, K.K.I.U dan Zhang. 2008. Heavy metal bioacumulation and toxicity with special referance to microalgae. *Journal ocean University Chineese*. 1(7): 25-30.
- Assche, F.V., and H. Clijsters. 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell & Environment*. 13(3): 195-206
- Awalina. 2011. Bioakumulasi ion logam timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dalam fitoplankton pada beberapa perairan situ di sekitar kabupaten Bogor. *Tesis*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Depok.
- Bengen, D.G. 2001. **Sinopsis ekosistem sumberdaya alam pesisir dan laut. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan**. Bogor : IPB.
- Bold & Wynne. 1985. **A biology of marine algae**. Hutchinson Education Ltd. London.
- Bold, H.C, dan MJ Wynne. 1985. **Introduction to the Algae. Second Edition**, Prectice Hall Mc. Engelwoods cliffs. New york.
- Borowitzka, M. A and L. J. Borowitzka. 1998. Microalga biotechnology. Cambridge: Cambridge University publication.
- Buhani. 2003. Adsorpsi Ion Logam Cu(II), Cd(II) dan Pb (II) pada Biomassa yang Diimobilisasi Silika Gel. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 9(2). Hal: 31-38.
- Burlew, J.S. 1995. Algal culture from laboratories to pilot plant. Washington : Carneige Institution of Washington.

- Carfagna, *et al.*, 2013. Physiological and morphological responses of lead or cadmium exposed *Chlorella sorokiana* (Chlorophyceae). *Springerplus*. 2:147.
- Chen dan S. Pan. 2005. Bioremediation potensial of *Spirulina* sp. toxicity and biosorption studies of lead. *Journal of Zheijang University science*.
- Chen,Dr.,Klassen,CD. 2009. "Cadmium toxicity". Environmental Health Perspective.
- Chojnacka,K,. A. Chojnacki dan H. Gorecka. 2004. Trace element removal by *Spirulina* sp. from copper smelter and refinery effluent. *Hydrometallurgy*. 73: 147-153.
- Citroreksoko,P. 1996. Pengantar bioremediasi prosiding pelatihan dan lokakarya. *Peranan bioremediasi dalam pengelolaan lingkungan*. Lipi-bppt. Jakarta: Cibinong
- Connels, Des W. 1990. **Bioaccumulation of Xenobiotic compoun**. Florida: CRC dress inc.
- Crawford,D.L. 1996. **Bioremdiation principles and application**. Cambridge: Cambridge press.
- D.L.Nelson dan Michael,M,.C. 2004. **Principles of biochemistry**. 4<sup>th</sup> Ed. Worth publishers: Inc New York.
- Darmono. 1995. **Logam dalam sistem biologi makhluk hidup**. Jakarta: UI press.
- Darmono. 2001. **Lingkungan hidup dan pencemaran**. Jakarta: UI press.
- Davis, C.C. 1995. **The marine and fresh water plankton**. United states of America : Michigan state University Press.
- Devinta et all. 2013. Bioakumulasi logam berat kadmium (Cd) oleh *Chaetoceros calcitrans* pada konsentrasi sublethal. *Jurnal sains dan seni pomits*. 2(2): 337-352.
- Dewi, Yatna S,& Gultom. 2009. Pemanfaatan algae *Chlorella* sp. dan eceng gondok untuk menurunkan tembaga (Cu) pada industri pelapisan logam. *Jurnal teknik kimia*. Semarang: Undip.
- Dolan, J. 1992. Mixotrophy in ciliates a review of *Chlorella* symbiosis and chloroplast retention. *Journal Mar microb food webs*. Hal: 115-132.
- Edris,G,.Alhamed, Y dan Alzahrani, A. 2012. **Cadmium and lead biosorption by *Chlorella vulgaris***. Sixteenth internatonal water technology conference. Turkey.
- Effendi, H. 2003. **Telaah kualitas air**. Yogyakarta: Kanisius.
- Fachrullah, Muhammad Reza. 2011. *Laju pertumbuhan mikroalga penghasil biofuel jenis *Chlorella* sp. dan *Nannochloropsis* sp. yang dikultivasi menggunakan air limbah hasil penambangan timah di Pulau Bangka*. Departemen Ilmu dan Teknologi kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. *Skripsi* tidak diterbitkan.
- Fardiaz. 1992. **Mikrobiologi pangan**. Jakarta: Gramedia pustaka utama.
- Fardiaz. 1992. **Polusi air dan udara**. Yogyakarta: Kanisius.
- Fasya,A.G. 2013. Uji aktivitas antibakteri ekstrak metanol mikroalga *Chlorella* sp hasil kultivasi dalam medium ekstrak tauge (MET) pada tiap fase pertumbuhan. *Alchemy journal of chemistry*. 2(3).
- Fatriyah,S. 2007. Studi awal pemanfaatan alga hijau dn karakterisasi sebagai biosorben ion logam Pb<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup> dan Cu<sup>2+</sup>. Fakultas Matematika dan

- Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia Jakarta. *Skrpsi tidak diterbitkan*.
- Fauziyah. 2011. Efektivitas penyerapan logam Kromium (Cr VI) dan Kadmium (Cd) oleh *Scenedesmus dimorphus*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. *Skrpsi tidak diterbitkan*.
- Fulks, W and K. L. Main. 1991. The design and operation of commercial-scale live feed production system in proceeding of U.S Asia **Workshop rotifer and microalgae culture system**. Hawaii: Honolulu.
- Gandjar, I., W. Sjamsuridzal, dan A. Oetari. 2006. **Mikologi dasar dan terapan**. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Garnham, G.W & Codd, G.A. 1986. Accumulation of Cobalt, Zink and Manganese by the estuarine green microalga *Chlorella salina* immobilized in alginate micribads. *Environ, sci technology*. 26: 1764-1770.
- H. Hirata. 1972. **The growth of Chlorella cells in culture**. Mem. Faculty Fish. University Kagoshima. 21. (1): 15-21.
- Hala, Y., Taba, P., dan Suryati, E. 2012. Biosorpsi campuran logam  $Pb^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$  oleh *Chaetoceros calcitrans*. *Chem. Prog*. 5(2):86.
- Hancock, I.C. 1996. Bioremediation of heavy metal pollution possibilities and practicalities the current position symposium and workshop on heavy metal bioaccumulation. *IUC biotechnology*. Yogyakarta: Universitas Gajah mada.
- Haryanto dan Agustono, W. 2004. Kinetika bioakumulasi logam berat kadmium oleh fitoplankton *Chlorella* sp. lingkungan perairan laut. *Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi*. Vol.5. No. 2.
- Hutagalung, H.P. 1991. *Pencemaran laut oleh logam berat dalam status pencemaran laut di Indonesia & teknik pemantauannya*. Jakarta: LIPI.
- Isnansetyo, A. dan Kurniastuty. 1995. *Teknik kultur phytoplanton dan zooplankton*. Kanisius. Yogyakarta
- J.Wang dan Chen, C. 2009. **Biosorben for heavy metals removal and their future** biotechnology.
- Kabinawa, I. N. K. 2006. *Spirulina: ganggang penggempur aneka penyakit*. Tangerang: Agromedia pustaka.
- Kaswadji, R.F. 1976. Studi pendahuluan tentang penyebaran dan kemelimpahan fioplankton di Delta Upang, Sumatera Selatan. **Karya ilmiah** Fakultas Perikanan Institut Pertanian Bogor. Bogor. Tidak diterbitkan.
- Kaswadji, R.F., *et all*. 1995. Dinamika fitoplankton di Teluk Pelabuhan Ratu dan kaitannya dengan rantai makanan di laut dan musim ikan. **Laporan penelitian**. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Intitut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kawaroe, M. 2010. **Potensi mikroalga dan pemanfaatannya untuk produksi bio bahan bakar**. Bogor: IPB press.
- KepmenLH. 2003. **Tentang pedoman penentuan status mutu air**. Departemen lingkungan hidup Pemerintah negara Republik Indonesia.
- Khamida, U., A. Ghanaim & Romaidi. 2014. Uji aktivitas antibakteri ekstrak metanol mikroalga *Chlorella* sp pada fase stationer hasil kultivasi dalam medium ekstrak tauge (MET). *Alchemy*. 3(1): 1-7.

- Komarawidjaja. 2016. Sebaran limbah cair Industri tekstil & dampaknya di beberapa desa kecamatan Rancaekek Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan vol 17. No 2. Hal: 118-125.*
- Kristanto. 2002. **Ekologi industri**. Yogyakarta: Andi.
- Kumar, H.D dan Singh.H.N. 1979. **A textbook on Algae**. Mac millan in London: College ed.
- Kurniawan, Jonathan & Aunurrohim. 2014. Biosorpsi logam Zn 2+ dan Pb 2+ oleh mikroalga *Chlorella* sp. *Jurnal sains dan seni pomits*. 3(1): 2337-3520.
- Kusuma, Ryan W., A., Dan Enny Zulaika. 2014. Potensi *Chlorella* sp. sebagai bioakumulator logam berat kadmium. *Jurnal SAINS dan Seni POMITS*. Vol. 3, No. 2.
- Lavens and Sorgeloos, P. 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO fisheries technical paper. No. 361. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Lee, Y.C and Chang, S.P. 2011. The biosorption of heavy metals from aqueous solution by *Spirogyra* and *Cladophora* filamentous macroalgae. *Bioresource technology*. 102: 5297-5304.
- Liljas, A. 1972. Crystal structure of human carbonic anhydrase C. *Nature new biology*. 235; 131-137.
- Mazidah, R. 2014. Pemanfaatan mikroalga *Chlorella* sp. sebagai bioremediator logam berat timbal (Pb) dari lumpur lapindo. Jurusan Biologi. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Malang. *Skripsi*.
- Merizawati. 2008. Analisis sinar merah, hijau dan biru (RGB) untuk mengukur kelimpahan fitoplankton (*Chlorella* sp.). *Skripsi*. Program studi Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Monteiro, C.M, Castro, P.M.L & Malcata, Fx. 2010. Cadmium Removal by two strain of *Desmosdesmus pleinomorphus* cells. *Journal water air soil pollution*. Vol: 208.
- Moore, J.W. 1991. Inorganic contaminants of surface water. *Springer-verlag*. New York.
- Musa, B., I. Raya., dan S. Dali. 2013. Pengaruh penambahan ion Cu<sup>2+</sup> terhadap laju pertumbuhan fitoplankton *Chlorella vulgaris*. Jurusan Kimia. FMIPA. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Nakajima et al. 1981. European. *J appl microbio biotechnol*. 12:76-83.
- Nontji, A. 1987. **Laut Nusantara**. Jakarta : Djambatan.
- Nontji, A. 2008. **Plankton laut**. Jakarta : LIPI press.
- Nugroho, A. 2006. **Bioremediasi hidrokarbon minyak bumi**. Jakarta: Graha ilmu.
- Nurdiana, S., et al. 2017. Kepadatan sel *Chlorella* sp. yang dikultur dengan perioditas cahaya berbeda. *Jurnal aquawarman*. Vol.3 (2): 35-41.
- Nybakken, J.W. 1998. Biologi laut suatu pendekatan ekologis. Jakarta : PT. Gramedia.
- Odum, E.P. 1993. **Dasar-dasar ekologi. Edisi ketiga**. Terjemahan Ir. Tjahjono Saminga. Yogyakarta: Universitas Gajah mada.

- Odum, H.T. 1994. **Ecological and general systems an introduction to systems ecology**. California: University press of Colardo.
- Oh-Hama, T., Miyachi, S. 1998. *Chlorella* in M, A. Borowitzka and L. J. Borowitzka (eds). *Microalga Biotechnology*. Cambridge: Cambridge University publication.
- Pacyna, J.M. 1987. Atmospheric emissionis of arsenic, cadmium, lead and mercury from high temperature processes in power generation and industry. In lead, mercury, cadmium and arsenic in the environment. Hutchinson. An meema.
- Palar, H. 1994. **Pencemaran dan toksikologi logam berat**. Jakarta: Rineka cipta.
- Palar, H. 2004. **Pencemaran dan toksikologi logam berat**. Jakarta: Rineka cipta.
- Pambudi, LT. 2001. Pengaruh sinar merah dengan panjang gelombang yang berbeda terhadap pertumbuhan kultur murni Chlorella. Skripsi. Program studi budidaya perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Bogor: IPB.
- Perales, V.G.H., Pena, C.J.M. and Canizares, V.R.O. 2005. Revie heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere*. 64(1): 1-10.
- Prabowo, Danang A. 2009. Optimasi pengembangan media untuk pertumbuhan *Chlorella* sp. pada skala laboratorium. *Skripsi*. Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB.
- Prabowo, Danang Ambar. 2009. Optimasi pengembangan media untuk pertumbuhan *Chlorella sp pada skala laboratorium*. Program studi ilmu dan teknologi kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. *Skripsi tidak diterbitkan*.
- Prihantini, N.B., Dini D & Ratna Yuniati. 2007. Pengaruh konsentrasi medium ekstrak tauge terhadap pertumbuhan *Scenedesmus sp* isolat subang. *Makara sains*. 11(1): 1-9.
- Prihantini, N.B., Berta P & Ratna Yuniati. 2005. Pertumbuhan *Chlorella* sp. dalam medium ekstrak tauge dengan variasi pH awal. *Makara sains*. 9(1): 1-6.
- Printo, E.T.C.S., S. Kutner, M.A.S. Leitao, O.K. Okamoto, D. Morse & P. Colepicolo. 2003. Heavy metal induced oxidative stress in algae. *J. Phycol*. 39. 1008-1012.
- Purnamawati, Florensia S, dan T. Retnaningsih. 2015. Potensi *Chlorella vulgaris beijenrick* dalam remediasi logam berat Cd dan Pb skala laboratorium. *Bioma*. 16(2): 102-113.
- Rachmawatie, et all. 2009. Analisis konsentrasi merkuri (Hg) dan kadmium (Cd) di muara sungai Porong sebagai area buangan limbah lumpur lapindo. *Jurnal kelautan*. 2(2).
- Rahmawati, dan Atik. 2011. Pengaruh derajat keasaman terhadap adsorpsi logam kadmium (II) dan timbal (II) pada asam humat. *Jurnal penelitian sains dan teknologi*. 2(1): 1-14.
- Rehman, Abdul and A.R.Shakoori. 2004. Tolerance and uptake of cadmium and nickle by *Chlorella* sp., isolated from Tannery Effluents. *Pakistan J.Zool.*, vol. 36(4), pp. 327-331.
- Riffat. 2012. *Fundamentals of waste water treatment and engineering*. CRC Press.



- Romaidi., dan T. Ueki. 2016. Bioaccumulation of vanadium by vanadium-resistant bacteria isolated from the intestine of *Ascidia sydneiensis samea*. *Mar Biotechnol.* 18: 359-371.
- Romimohtarto, K dan S.Juwana. 2001. **Biologi laut**. Jakarta : Djambatan.
- Romimohtarto. 2004. Mesoplankton laut larva hewan laut yang menjadi plankton. Jakarta: Djambatan.
- Rostini, I. 2007. Kultur fitoplankton (*Chlorella* sp dan *Tetraselmis* sp) pada skala laboratorium. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjajaran. *Tesis* tidak diterbitkan.
- Rusmin. 2005. Pengaruh beberapa konsentrasi kadmium (Cd) pada medium basal bold (MBB) terhadap kerapatan sel mikroalga *Scenedesmus* sp. Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. *Skripsi*.
- Sachlan, M. 1982. **Planktologi**. Jakarta: Direktorat jenderal Perikanan.
- Said, N.I. 2010. Metoda penghilangan logam berat (Ar,Cd,Cr,Cu,Pb dan Zn) di dalam air limbah industri. *Jai.* 6(2).
- Sanusi. 2006. Kimia laut proses fisik kimia dan interaksinya dengan lingkungan. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan & Ilmu Kelautan.
- Scarano, G dan Morelli, E. 2002. Characterization of cadmium and lead phytochelatin complexes formed in a marine microalga in response to metal exposure. *Biometals.* 15: 145-151.
- Shah, M. M. R., M.J. Alam dan M. Y. Mia. 2003. *Chlorella* sp: Isolation, pureculture and small scale culture in Brackish water. Bangladesh *J.sci ind. Res khulna.* Bangladesh.
- Shibab, Q. 2002. **Tafsir Al-Mishbah pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an**. Jakarta: Lentera hati press.
- Sidabutar, E. A. 1999. Pengaruh jenis medium pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. terhdap aktivitas senyawa pemacu pertumbuhan yang dihasilkan. *Skripsi*. Program studi teknologi hasil perikanan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Bogor. IPB.
- Sigiro, E.R.P.S., A.W.N. Jati., dan L.I. Murwani. 2016. Efektivitas penyerapan timbal (Pb) menggunakan penambahan mikoriza dan EDTA pada bunga matahari (*Helianthus annus* Linn.). Jurusan Biologi Fakultas Teknobiologi Universitas Atma Jaya. *E-Journal UAJY.* -: 1-10.
- Soeprbowati, T. R. Dan Hariyati, R. 2013a. Potensi mikroalga sebagai agen bioremediasi dan aplikasinya dalam penurunan konsentrasi logam berat pada Instalasi pengolahan air limbah Industri. **Laporan akhir penelitian Fundamental**. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Soeprbowati, T.R and Hariyati, R. 2013b. Bioaccumulation of Pb, Cd, Cu and Cr by *Porphyridium cruentum* (S.F. Gray). Nageli. *International R. Journal of Marine Science* 3(27): 212-218.
- Soeprbowati, T.R dan R. Hariyati. 2012. The potensial used of microalgae for heavy metals remediation. *Proceeding isnpinsa.* University Diponegoro. Semarang
- Soeprbowati,T.R dan R. Hariyati. 2007. The phycoremediation of textile wastewater discharge by *Chlorella pyrenoidosa* H.chick *Arthrospira*

- platensis* gomont and *Chaetoceros calcitrans* (paulson) H. Takano. *AACL bioflux*. 10(2).
- Sony. 2009. Penentuan kadar logam seng (Zn) dan tembaga (Cu) dalam air PDAM hasil penyaringan water purifier tipe drinking stand. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera utara Medan.
- Sudarmaji. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal kesehatan lingkungan*. vol 2, no 2.
- Sudarmanji, M.J dan Corie, I.P. 2006. **Toksilogi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan**. Jakarta: Pustaka belajar.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval logam berat dengan menggunakan mikroorganisme. **Seminar bioteknologi** untuk Indonesia abad 21: 1-14.
- Suriyani, Irma dan kotijah, Siti. 2013. Kajian islam dalam masalah lingkungan hidup di Kota Samarinda. *Risalah hukum Fakultas Hukum Unmul*. Vol:9. No. 1.
- Suriyani, I, dan Khotijah, S. 2013. Kajian islam dalam masalah lingkungan hidup di kota Samarinda. *Risalah hukum Fakultas Hukum Unmul*. 9(1).
- Sutomo. 2005. Kultur tiga jenis mikroalga (*Tetraselmis* sp., *Chlorella* sp., dan *Chaetoceros gracilis*) dan pengaruh kepadatan awal terhadap pertumbuhan *C.gracilis* di Laboratorium. *Jurnal Oseanografi dan Limnologi di Indonesia*. No. 37. Hal: 43-48.
- Syahputra, B. 2008. Pemanfaatan algae *Chlorella pyrenoidosa* untuk menurunkan tembaga (Cu) pada industri pelapisan logam. Diakses tanggal 5 Oktober 2019.
- Sylvester B, Nelvy D, Sudjiharno. 2002. Persyaratan budidaya fitoplankton. *Budidaya Fitoplankton dan Zooplankton*. 10:24-36.
- Sze, P. 1993. A biology of the algae. *Second edition*. Wm. C. brown communications. Inc. Dubuque. USA. P.3.
- Tetelepta, L., D., 2011. Pertumbuhan kultur *Chlorella* sp. dalam skala Laboratorium pada beberapa tingkat kepadatan inokulum. *Jurnal pengembangan pulau-pulau kecil*. Hal: 198-202.
- Triani, L. 2006. Desorpsi Ion Logam Tembaga (II) dari Biomassa *Chlorella* sp, yang Termobilisasi dalam Silika Gel. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang. *Skripsi*.
- Wahyu Widowati, dkk. 2008. **Efek toksik logam**. Yogyakarta: Andi.
- Waluyo, Lud. 2009. **Mikrobiologi Lingkungan**. Malang: UMM Press.
- Wang H and Jia Y. 2009. Bioaccumulation of heavy metals by *Phragmites Australis* cultivated in Synthesized substrates. *J Environ sci (china)*. Vol 21 (10): 1409.
- Wetipo, et al. 2013. **Potensi *Chlorella* sp. sebagai agen bioremediasi logam berat di air**. Salatiga: UKSW.
- Widiyani, et al. 2014. Penurunan konsentrasi logam berat kadmium (Cd) dan pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* pada media kultur. *Bioma*. Volume 3, No.2.
- Wijoseno, Tangguh. 2011. Uji Pengaruh Variasi Media Kultur Terhadap Tingkat Pertumbuhan Dan Kandungan Protein, Lipid, Klorofil, dan Kerotenoid

pada Mikroalga *Chlorella vulgahmaris* Buitenzorg. *Skripsi* Tidak Diterbitkan. Jakarta: Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

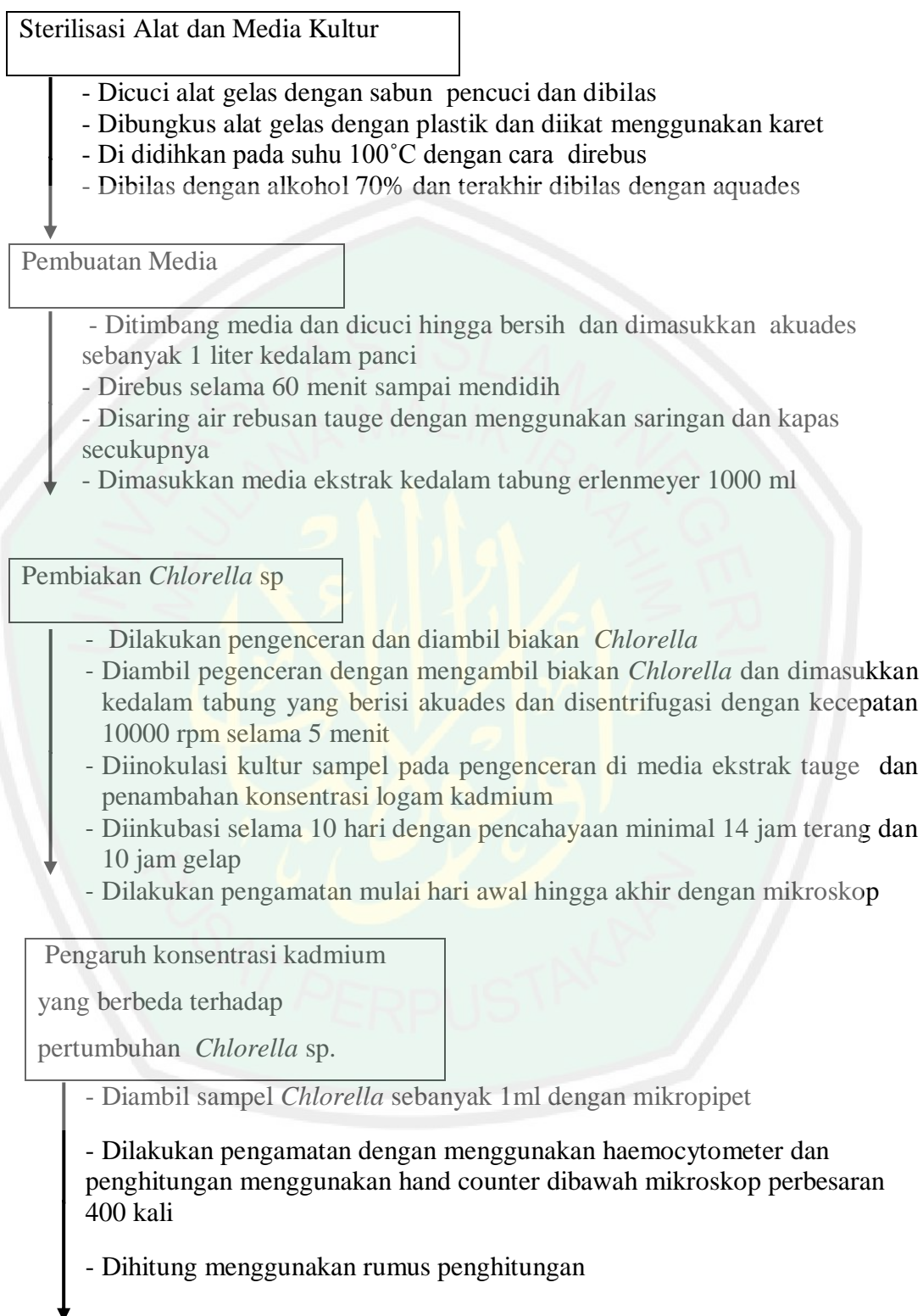
Winarno, Radyastuti. 1992. **Ekologi Sebagai Dasar untuk Memahami Tatanan Dalam Lingkungan Hidup**. Malang : UM Press.

Yanuhar, Uun. 2016. **Mikroalga Laut** *Nannochloropsis oculata*. Malang : UB Press.



## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Prosedur kerja



Uji akumulasi CdSO<sub>4</sub>

- Diinokulasi logam kadmium dengan *Chlorella* di media MET
- Diukur konsentrasi penambahan kadmium pada *Chlorella* dengan 3 kali ulangan
- Diambil sampel dan diletakkan ke dalam tube, disentrifuse 5000 rpm selama 15 menit
- Dipisahkan supernatan dan pelet, dipanaskan dalam oven pada suhu 65° C selama 24 jam.
- Ditambahkan 5ml HNO<sub>3</sub> 1N dan dipanaskan lagi pada suhu 65° C selama 24 jam sampel di sentrifugasi 5000 rpm selama 15 menit.
- Diambil supernatan
- Dilakukan uji SAA

Hasil



## Lampiran 2. Perhitungan

1. Perhitungan untuk membuat media ekstrak tauge (MET) dalam 1000 ml.

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 100\% = 1000 \text{ ml} \times 4\%$$

$$V_1 = \frac{5 \times 1000}{100}$$

$$V_1 = 40 \text{ ml}$$

Untuk membuat media ekstrak tauge 4%, diperlukan 5ml ekstrak tauge yang kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 1000 ml dan dimasukkan akuades steril hingga tanda batas dan dihomogenkan. Kemudian didapatkan larutan media ekstrak tauge 4%.

2. Menghitung Larutan Stok Cd 1000 ppm dalam 100 ml

$$\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{Mr \text{ CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O} \times 100}{Ar \text{ Cd} \times 99} = \frac{208 \times 100}{112 \times 99} = \frac{20,800}{11,088} = 1,8 \text{ gram}$$

Jadi, cara untuk membuat larutan stok 1000 mg/L (1000 ppm), maka ditimbang 1,8 g,  $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  yang kemudian dilarutkan dalam akuades 1 L dan dihomogenkan.

3. Membuat Larutan Cd 0 ppm, 5ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 50 ppm

Diketahui :

- o Larutan logam Cd 0ppm

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 150 \text{ ml} \times 0 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{150 \text{ ml} \times 0 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0 \text{ ml}$$

Jadi untuk membuat larutan stok 0 ppm atau kontrol hanya penambahan media campuran dan bibit *Chlorella* sp. dengan volume total 150 ml.

- o Larutan logam Cd 5 ppm

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 150 \text{ ml} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{150 \text{ ml} \times 5 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0,75 \text{ ml}$$

Jadi, untuk membuat larutan stok 5 ppm diambil 0,75ml dari larutan stok 1000 ppm. Kemudian untuk membuat medium dengan volume 150 ml, maka 0,75 ml dari 1000 ppm yang dibutuhkan dalam percampuran media kultur.

- o Larutan Cd 10 ppm

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 150 \text{ ml} \times 10 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{150 \text{ ml} \times 10 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}}$$

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

Jadi, untuk membuat larutan stok 10 ppm diambil sebanyak 1,5 ml dari larutan stok 1000 ppm. Kemudian untuk membuat medium dengan volume 150 ml, maka 1,5 ml dari 1000 ppm yang dibutuhkan dalam percampuran media kultur.

o Larutan Cd 20 ppm

$$\begin{aligned}V_1 \times N_1 &= V_2 \times N_2 \\V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 150 \text{ ml} \times 20 \text{ ppm} \\V_1 &= \frac{150 \text{ ml} \times 20 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\V_1 &= 3 \text{ ml}\end{aligned}$$

Jadi, untuk membuat larutan stok 20 ppm diambil sebanyak 3 ml dari larutan stok 1000 ppm. Kemudian untuk membuat medium dengan volume 150 ml, maka 3ml dari 1000 ppm yang dibutuhkan dalam percampuran media kultur.

o Larutan Cd 50 ppm

$$\begin{aligned}V_1 \times N_1 &= V_2 \times N_2 \\V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 150 \text{ ml} \times 50 \text{ ppm} \\V_1 &= \frac{150 \text{ ml} \times 50 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \\V_1 &= 7,5 \text{ ml}\end{aligned}$$

Jadi, untuk membuat larutan stok 50 ppm diambil 7,5 ml dari larutan stok 1000 ppm. Kemudian untuk membuat medium dengan volume 150 ml, maka 7,5 ml dari 1000 ppm yang dibutuhkan dalam percampuran media kultur.

Lampiran 3. Tabel Data Hasil Pengamatan

Tabel 1. Data pengamatan kepadatan populasi sel *Chlorella* sp. pada konsentrasi logam Cd

| Hari ke- | 0 ppm           | 5 ppm           | 10 ppm          | 20 ppm          | 50 ppm           |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 0        | 433333,3        | 333333,3        | 433333,3        | 533333,3        | 366666,7         |
| 1        | 900000          | 333333,3        | 750000          | 350000          | 333333,3         |
| 2        | 1383333         | 416666,7        | 883333,3        | 383333,3        | 433333,3         |
| 3        | 1666667         | 783333,3        | 883333,3        | 633333,3        | 550000           |
| 4        | 2916667         | 800000          | 1066667         | 800000          | 533333,3         |
| 5        | 3166667         | <b>1416667*</b> | <b>1266667*</b> | <b>1466667*</b> | <b>816666,7*</b> |
| 6        | <b>4366667*</b> | 1216667         | 866666,7        | 833333,3        | 383333,3         |
| 7        | 3166667         | 1116667         | 616666,7        | 566666,7        | 350000           |
| 8        | 3283333         | 1166667         | 550000          | 383333,3        | 333333,3         |
| 9        | 2950000         | 500000          | 416666,7        | 116666,7        | 233333,3         |
| 10       | 2416667         | 333333,3        | 200000          | 83333,33        | 66666,67         |
| Jumlah   | 26650000        | 8416667         | 7933333         | 6150000         | 4400000          |
| Rerata   | 2422727         | 765151,5        | 721212,1        | 559090,9        | 400000           |

Ket:

\*= Fase puncak



## Lampiran 4. Hasil Analisis Variansi (ANOVA) dan Uji lanjut BNT

Tabel 2. Rerata pertumbuhan *Chlorella* sp.pada masing-masing perlakuan

| Perlakuan | Ulangan   |           |           | Jumlah     | Rata-rata        |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------------|
|           | 1         | 2         | 3         |            |                  |
| 0 ppm     | 2.445.454 | 2.436.364 | 2.386.364 | 7.268.181  | 2.422.727        |
| 5 ppm     | 727.272   | 822.727   | 745.454   | 2.295.454  | 765.151          |
| 10 ppm    | 804.545   | 622.727   | 736.363   | 2.163.636  | 721.212          |
| 20 ppm    | 609.090   | 636.363   | 431.818   | 1.677.272  | 559.090          |
| 50 ppm    | 427.272   | 422.727   | 350.000   | 1.200.000  | 400.000          |
| Total     |           |           |           | 14.604.545 | <b>973.636,4</b> |

$$X = \frac{\sum}{r \times t} = \frac{14.604.545}{15} = 973.636.333$$

$$\text{Faktor koreksi (FK)} = \frac{\sum T^2}{r \times t} = \frac{14.604.545^2}{15} = 14.219.515.643.801$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kuadrat total (JKT)} &= \sum y_{ij}^2 - \text{FK} \\ &= 2.445.454^2 + \dots + 350.000^2 - 14.219.515.643.801 \\ &= 8.176.330.578.630,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)} &= \frac{\text{Total perlakuan}^2}{\text{Ulangan}} - \text{FK} \\ &= \frac{7.268.181^2 + \dots + 1.200.000^2}{3} - 14.219.515.643.801 \\ &= 8.123.865.013.834,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kuadrat galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 8.176.330.578.630,14 - 8.123.865.013.834,3 \\ &= 52.465.564.796 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuadrat tengah perlakuan (KTP)} &= \frac{\text{jumlah kuadrat perlakuan}}{t-1} \\ &= \frac{8.123.865.013.834,3}{5-1} = \frac{8.123.865.013.834,3}{4} \\ &= 2.030.966.253.458,57 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuadrat tengah galat (KTG)} &= \frac{\text{jumlah kuadrat galat}}{t(r-1)} \\ &= \frac{52.465.564.796}{5(3-1)} = \frac{52.465.564.796}{10} = 5.246.556.479,6 \end{aligned}$$

$$\text{Fhitung} = \frac{2.030.966.253.458,57}{5.246.556.479,6} = 387,1046202$$

Tabel 3. Ringkasan hasil One Way Anova tentang pengaruh perbedaan konsentrasi logam kadmium (Cd) terhadap populasi sel *Chlorella* sp

| SK        | JK                  | Db/df | KT                  | F hitung | F Tabel 5% |
|-----------|---------------------|-------|---------------------|----------|------------|
| Perlakuan | 8.123.865.013.834,3 | 4     | 2.030.966.253.458,5 | 387,1    | 3,1        |
| Galat     | 5.246.556.479, 6    | 10    | 5.246.556.480       |          |            |
| Total     | 8.176.330.578.630,1 | 14    |                     |          |            |

Kesimpulan : karena F hitung (387,1046202) > F table (3,11) maka, H1 diterima

Jadi, ada pengaruh konsentrasi logam kadmium (Cd) terhadap pertumbuhan populasi *Chlorella* sp.

Karena ada pengaruh, maka dilakukanlah uji lanjut BNT 0.05

$$\begin{aligned}
 \text{BNT}_{0.05} &= (t_{\alpha, df_e}) \times \sqrt{\frac{2 \times \text{KTG}}{\text{Ulangan}}} \\
 &= (t_{0.05, 10}) \times \sqrt{\frac{2 \times 5.246.556.480}{3}} \\
 &= 2,228 \times 59141,39261 = 131767,0227
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Ringkasan BNT 0.05 tentang pengaruh perbedaan konsentrasi ion logam kadmium (Cd) terhadap populasi sel *Chlorella* sp.

| Perlakuan       | Rata-rata ± Standar Deviasi | Notasi BNT 0.05 | Persentase penghambatan (%) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 50 ppm          | 400.000 ± 133.716           | a               | 83%                         |
| 20 ppm          | 559.091 ± 195.015           | b               | 77%                         |
| 10 ppm          | 721.212 ± 157.186           | c               | 70%                         |
| 5 ppm           | 765.152 ± 186.112           | c               | 68%                         |
| Kontrol (0 ppm) | 2.422.727 ± 426.134         | d               | 0%                          |

Lampiran 5. Hasil gambar pengamatan

Gambar 1. Hasil pengamatan *Chlorella* sp. mikroskopis



Lampiran 6. Dokumentasi



Pengamatan hari ke-0 dengan konsentrasi 20ppm



Pengamatan hari ke- 0 dengan konsentrasi 0ppm (Kontrol)



Pengamatan hari ke-0 dengan konsentrasi 50ppm



Pengamatan hari ke-10 dengan masing-masing perlakuan



**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Anida Rchmawati  
NIM : 14620016  
Program Studi : S1 Biologi  
Semester : Ganjil T.A 2019/2020  
Pembimbing : Romaidi , M.Si. D.Sc.  
Judul Skripsi : "Pemanfaatan *Chlorella* sp. sebagai akumulator logam kadmium."

| No  | Tanggal           | Uraian Materi Konsultasi        | Ttd. Pembimbing |
|-----|-------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1.  | 13 Agustus 2018   | Konsultasi Judul Penelitian     | 1. ✓            |
| 2.  | 15 Oktober 2018   | Konsultasi BAB I                | 2. ✓            |
| 3.  | 15 Novembaer 2018 | Revisi BAB II                   | 3. ✓            |
| 4.  | 26 November 2018  | Konsultasi Rancangan Penelitian | 4. ✓            |
| 5.  | 5 Desember 2018   | Konsultasi BAB III              | 5. ✓            |
| 6.  | 11 Januari 2019   | Revisi BAB III                  | 6. ✓            |
| 7.  | 2 Februari 2019   | Acc BAB I,II & III              | 7. ✓            |
| 8.  | 7 Oktober 2019    | Konsultasi BAB IV               | 8. ✓            |
| 9.  | 14 Oktober 2019   | Konsultasi BAB V                | 9. ✓            |
| 10. | 4 November 2019   | Revisi BAB IV & V               | 10. ✓           |
| 12. | 4 Desember 2019   | Revisi BAB IV & V               | 11. ✓           |
| 13. | 5 Desember 2019   | Acc Skripsi                     | 12. ✓           |

A. Pembimbing Skripsi,

Romaidi, M.Si., D.Sc  
NIP. 19810201 200901 1 019



Malang, 05 Desember 2019  
Romaidi, M.Si., D.Sc

NIP. 19810201 200901 1 019



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
JURUSAN BIOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp (0341) 558933, Fax. (0341) 558933

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Anida Rachmawati  
NIM : 14620016  
Program Studi : S1 Biologi  
Semester : Ganjil T.A 2019/2020  
Pembimbing : M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I  
Judul Skripsi : "Pemanfaatan *Chlorella* sp. sebagai akumulator logam kadmium."

| No | Tanggal           | Uraian Materi Konsultasi             | Ttd. Pembimbing |
|----|-------------------|--------------------------------------|-----------------|
| 1. | 15 Agustus 2018   | Integrasi Al-Qur'an dan Hadits BAB I | 1.              |
| 2. | 20 Agustus 2018   | Konsultasi BAB II                    | 2.              |
| 3. | 17 September 2018 | Konsultasi BAB I & II                | 3.              |
| 4. | 25 September 2018 | ACC BAB I, II, III                   | 4.              |
| 5. | 9 Oktober 2019    | Konsultasi BAB IV                    | 5.              |
| 6. | 16 Oktober 2019   | Revisi BAB II & IV                   | 6.              |
| 7. | 22 Oktober 2019   | ACC Skripsi                          | 7.              |

Pembimbing Skripsi,

M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I  
NIPT. 201402011409



Malang, 05 Desember 2019  
Jurusan,

Rofiqi, M.Si., D.Sc  
NIPT. 19810201 200901 1 019



Scanned with  
CamScanner