



TUGAS AKHIR – RE 141581

**UJI KEMAMPUAN KONSORSIUM ALGA  
*Chlorella vulgaris* DAN *Spirulina platensis*  
UNTUK MEREMOVAL LOGAM BERAT  
KADMIUM (II)**

PATRICIA AGNES HUTABARAT  
0321144000097

DOSEN PEMBIMBING  
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**TUGAS AKHIR – RE 141581**

**UJI KEMAMPUAN KONSORSIUM ALGA  
*Chlorella vulgaris* DAN *Spirulina platensis*  
UNTUK MEREMOVAL LOGAM BERAT  
KADMIUM (II)**

PATRICIA AGNES HUTABARAT  
0321144000097

DOSEN PEMBIMBING  
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**FINAL PROJECT – RE 141581**

**THE ABILITY TEST OF MICROALGAE  
CONSORTIA *Chlorella vulgaris* AND  
*Spirulina platensis* REMOVING Cadmium (II)**

**PATRICIA AGNES HUTABARAT**  
0321144000097

**DOSEN PEMBIMBING**  
Bieby Vojjant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



**LEMBAR PENGESAHAN**

**UJI KEMAMPUAN KONSORSIUM ALGA *Chlorella vulgaris*  
DAN *Spirulina platensis* UNTUK MEREMOVAL LOGAM  
BERAT KADMIUM (II)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

**PATRICIA AGNES HUTABARAT**  
NRP. 0321144000097

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Bieby Voijant Tangahu, S.T. M.T. Ph.D  
NIP. 1970818 199703 2 001



# UJI KEMAMPUAN KONSORSIUM ALGA *Chlorella vulgaris* DAN *Spirulina platensis* UNTUK MEREMOVAL LOGAM BERAT KADMIUM (II)

Nama Mahasiswa : Patricia Agnes Hutabarat  
NRP : 0321144000097  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, S.T, M.T, Ph.D.

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan persentase penyisihan kadmium oleh konsorsium alga dan perbandingan komposisi terbaik antar kedua alga yaitu *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dalam mengakumulasi atau menyisihkan logam berat sebagai pencemar. Air limbah mengandung kadmium yang digunakan pada penelitian ini merupakan air limbah sintetik dengan konsentrasi kadmium 10 mg/L. Penentuan nilai konsentrasi kadmium yang digunakan tersebut didasarkan pada penelitian pendahuluan menggunakan metode Range Finding Test (RFT). Variabel yang digunakan pada penelitian adalah variasi komposisi algae *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* (25:75, 50:50, dan 75:25 %v/v) dan tingkat salinitas media hidup alga (0 psu, 20 psu, 35 psu). Penelitian dilakukan selama 7 hari dengan metode *High Rate Algae Reactor (HRAR)* yaitu dengan optimalisasi pengadukan 80-100 rpm selama 24 jam/hari dan pencahayaan menggunakan sinar artifisial pada intensitas 6000 – 7000 lux. Nilai penurunan total logam berat diuji menggunakan metode analisis AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometry*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan terbaik penyisihan kadmium adalah pada reaktor dengan variasi komposisi *Chlorella vulgaris* : *Spirulina platensis* 75% : 25% pada salinitas 0 psu yang mampu menyisihkan kromium sebesar 28,5%.

Kata kunci : *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, *High Rate Algal Reactor*, Konsorsium, Kadmium, Salinitas



# THE ABILITY TEST OF MICROALGAE CONSORTIA *Chlorella vulgaris* AND *Spirulina platensis* REMOVING CADMIUM (II)

Nama Mahasiswa : Patricia Agnes Hutabarat  
NRP : 0321144000097  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, S.T, M.T, Ph.D

## ABSTRACT

The purpose of this project is to know the removal percentage of Cadmium by microalga consortia and the best composition ratio of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* accumulating and removing the heavy metal as the pollutant in the wastewater. The concentration of Cadmium (II) used in this project is 10 mg/L. The concentration is determined by Range Finding Test (RFT). Variables in this projects are the composition ratio of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* (25%:75%, 50%:50%, and 75%:25%, %v/v) and the salinity of media (0 psu, 20 psu, and 35 psu). The duration of this research is 7 days using High Rate Algae Reactor (HRAR) by optimize the mixing rate at 80-100 rpm for 24 hours/day and add the artificial source of light 6000-7000 lux. The ability of the consortia of microalga removing Cadmium (II) is known by Atomic Absorption Spectrofotometry. The result shows that the best ability of Cadmium (II) removal is on the reactor contains *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* with the composition ratio is 75% : 25% and 0 psu salinity. The best percentage of removal is 28,5 %

Keywords : *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, High Rate Algal Reactor, Consortia, Cadmium, Salinity



## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Tuhan Allah Yang Maha Esa karena atas Rahmat dan Karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Uji Kemampuan Konsorsium Alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* untuk Meremoval Logam Berat Kadmium (II)” ini dengan lancar.

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T, M.T, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bantuan, bimbingan, serta ilmu yang telah diberikan,
2. Bapak Ir.Bowo Djoko Marsono, M.Eng, Ph.D., Ibu Harmin Sulistyaningtith S.T., M.T., Ph.D, dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T, M.T, Ph.D. selaku Dosen Penguji tugas akhir, terima kasih atas seluruh saran, bimbingan, serta kritik yang membangun,
3. Ibu Hurun In, Ibu Mery Susilowati, Bapak Hadi, Bapak Affan, dan segenap laboran serta civitas akademika Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi selama berada di laboratorium,
4. Teman-teman saya di Laboratorium Remediasi Lingkungan khususnya Malik Berlianto, Gilang Rezha Mahardika, Khonza Rofifah, Devita Yulisa Simanjuntak, M. Sultanul Adzkar, Adriana Obenu, Anindita Sari Pertiwi, dan segenap teman-teman lainnya, Terima Kasih atas kesediaannya untuk menemani, membantu, dan mendengarkan keluh kesah selama pengerjaan tugas akhir ini.

Tak lupa pula saya ucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orangtua saya, Bapak Henry Hutabarat dan Ibu Restu Limbong, serta kakak dan adik saya Yolanda Winarny, dan Julio Caesar, juga Sabam Oraendo, serta segenap keluarga saya

yang telah memberikan dukungan materi, motivasi dan doa selama pengerjaan tugas akhir ini. Tugas akhir ini saya persembahkan khusus untuk kalian semua.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, Saya menerima saran maupun kritik yang membangun agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik dan bermanfaat bagi bersama serta perkembangan sains dan teknologi khususnya di bidang lingkungan, di masa yang akan datang.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>21</b>
1.1 Latar Belakang .....	21
1.2 Rumusan Masalah .....	23
1.3 Tujuan.....	23
1.4 Ruang Lingkup .....	24
1.5 Manfaat.....	24
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>27</b>
2.1 Karakteristik Logam Berat .....	27
2.2 Karakteristik Logam Berat Kadmium.....	27
2.3 Alga dan Konsorsium Alga .....	28
2.4 Karakteristik <i>Chlorella vulgaris</i> .....	29
2.5 Karakteristik <i>Spirulina platensis</i> .....	31
2.6 Faktor Tumbuh Mikrolga .....	33
2.6.1 Aerasi .....	33
2.6.2 Pencahayaan.....	33
2.6.3 Salinitas .....	34
2.6.4. pH dan Temperatur .....	34
2.6.5. Sumber Nutrien .....	35
2.7 Laju Pertumbuhan Alga.....	35
2.7.1 <i>Chlorella vulgaris</i> .....	35
2.7.2 <i>Spirulina platensis</i> .....	37
2.8 Ketahanan Alga terhadap Logam Berat.....	39
2.9 Biosorpsi Alga dan Penerapannya pada Instalasi Pengolahan Air Limbah.....	39

2.9 Penelitian Terdahulu.....	40
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>
3.1 Kerangka Penelitian .....	43
3.2 Tahap Penelitian.....	45
3.2.1. Ide Penelitian .....	45
3.2.2 Studi Literatur .....	46
3.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	46
3.3.1 Alat.....	46
3.3.2 Bahan .....	46
3.4 Persiapan Penelitian.....	46
3.5 Tahap Uji Laju Pertumbuhan.....	47
3.6 Range Finding Test .....	49
3.7 Tahap Penyisihan Logam Berat Kadmium (Cd <sup>2+</sup> ).....	50
<b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>55</b>
4.1 Analisis Karakteristik Awal Nutrien Alga.....	55
4.2 Uji Laju Pertumbuhan Alga.....	56
4.2.1. Analisis Klorofil .....	59
4.2.2 Penghitungan Jumlah Sel.....	61
4.2.3 Optical Density.....	62
4.2.4 Analisis pH.....	67
4.2.5 Salinitas .....	69
4.3 Range Finding Test .....	69
4.4. Kemampuan Alga dalam Removal Cd(II).....	75
4.4.1. Hasil Analisis Pertambahan Jumlah Sel Alga ...	77
4.4.2 Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Berat Cadmium .....	81
4.4.3 Pengaruh Variasi Komposisi Konsorsium Alga terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Berat Cd(II) .....	87
4.4.4 Pengaruh Variasi Salinitas Media terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Berat Cd(II)	88

4.4.5. Perubahan pH .....	89
4.4.6. Perubahan Salinitas .....	90
4.4.7. Perubahan Suhu.....	91
4.5. Uji Statistik.....	92
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>95</b>
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran .....	95
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>97</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>105</b>
A. Prosedur Tahapan Penelitian .....	105
A.1. Tahapan Propagasi Alga .....	105
A.2. Penghitungan Jumlah Sel dengan <i>Haemocytometer</i> .....	109
A.3. Tahapan Analisis Klorofil .....	111
A.4. Pembuatan Larutan Pencemar CdSO <sub>4</sub> .....	113
A.5 Tahapan Uji RFT ( <i>Range Finding Test</i> ).....	113
A.6 Pengukuran dengan menggunakan <i>Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)</i> .....	116
B. Lampiran Hasil Analisis.....	118
C. Dokumentasi Kegiatan.....	125
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>137</b>

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Chlorella dengan Perbesaran 100 x 10.....	31
Gambar 2.2 Sel Spirulina .....	33
Gambar 2.3 Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	36
Gambar 2.2 Kurva Pertumbuhan <i>Spirulina platensis</i> .....	38
Gambar 3.1 Alur Penelitian .....	44
Gambar 3.2 Reaktor Propagasi Alga .....	48
Gambar 3.3 Peralatan <i>Haemocytometer</i> .....	52
Gambar 3.4 Tampak Pengamatan Sel <i>Spirulina platensis</i> .....	53
Gambar 3.5 Tampak Pengamatan Sel <i>Chlorella vulgaris</i> .....	53
Gambar 4.1 Kadar Klorofil Kedua Alga .....	60
Gambar 4.2 Pertumbuhan Alga berdasarkan Jumlah Sel.....	62
Gambar 4.3 Pertumbuhan Alga berdasarkan OD .....	63
Gambar 4.4 Hubungan OD dengan Klorofil A <i>Chlorella vulgaris</i>	64
Gambar 4.5 Hubungan OD dengan Klorofil a <i>Spirulina platensis</i>	64
Gambar 4.6 Hubungan Jumlah Sel dengan OD <i>Chlorella vulgaris</i> .....	66
Gambar 4.7 Hubungan Jumlah Sel dengan OD <i>Spirulina platensis</i> .....	66
Gambar 4.8 Nilai pH selama Uji Laju Pertumbuhan .....	68
Gambar 4.9 Nilai Salinitas selama Uji Laju Pertumbuhan .....	69
Gambar 4.10 Jumlah Sel <i>Chlorella vulgaris</i> pada RFT .....	72
Gambar 4.11 Jumlah Sel <i>Spirulina platensis</i> pada RFT .....	74
Gambar 4.12 Pertambahan Jumlah Sel <i>Chlorella vulgaris</i> .....	77
Gambar 4.13 Pertambahan Jumlah Sel <i>Spirulina platensis</i> .....	78
Gambar 4.14 Penyisihan Kadmium berdasarkan Variasi Komposisi dan Salinitas .....	84
Gambar 4.15 Bagan Alir Mekanisme Penyerapan Kadmium.....	85
Gambar 4.16 Penyisihan Kadmium berdasarkan Variasi Komposisi Alga .....	87
Gambar 4.17 Penyisihan Kadmium berdasarkan Variasi Salinitas .....	88
Gambar 4.18 Perubahan pH setiap Reaktor .....	89
Gambar 4.19 Perubahan Salinitas setiap Reaktor .....	90

Gambar 4.20 Perubahan Suhu setiap Reaktor .....	91
Gambar 4.21 Analisis Statistik.....	92

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu .....	41
Tabel 3.1 Matriks Variabel Penelitian .....	50
Tabel 4.1 Pengamatan Fisik Uji Laju Pertumbuhan .....	57
Tabel 4.2 Pengamatan Fisik <i>Chlorella vulgaris</i> pada RFT .....	71
Tabel 4.3 Pengamatan Fisik <i>Spirulina platensis</i> pada RFT .....	73
Tabel 4.4 Jumlah Sel berdasarkan Komposisi dalam Reaktor ...	79
Tabel 4.5 Rumus Konversi Biomassa dari Jumlah Sel .....	80
Tabel 4.6 Kadar Biomassa Algal .....	81
Tabel 4.7 Efisiensi Penyisihan Logam Berat Cd (II) .....	82

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Wilayah laut Indonesia membentang melebihi 5 juta kilometer persegi atau hampir dua kali luas daratannya. Pada satu sisi, laut merupakan tempat hidup berbagai biota laut, dan di sisi lain merupakan muara terakhir sungai-sungai yang sudah tercemar. (Wibowo dan Haryoto, 2004). Semakin bertambahnya aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan, maka semakin meningkat jumlah dan jenis pencemar yang masuk ke perairan laut. Hal tersebut menurunkan daya guna perairan laut.

Dalam dasawarsa terakhir, kandungan logam berat di perairan mendapat perhatian yang cukup besar bagi para ahli toksikologi (Marr dan Cresser, 1983). Keberadaan logam berat di lingkungan dengan konsentrasi tinggi merupakan pencemar dan masalah lingkungan yang sangat penting sehingga dapat menimbulkan permasalahan ekologi yang serius (Chovanova et al., 2004; Velasques & Dussan, 2009; Istarani dan Pandebesie, 2015). Logam berat di lingkungan dan dalam tubuh organisme dapat menimbulkan dampak negatif bagi organisme itu sendiri sehingga diperlukan suatu tindakan pengelolaan bagi lingkungan yang telah terkontaminasi dengan logam berat. Logam kadmium banyak dilepaskan di daerah pertambangan dan tempat peleburan logam (Frank, 1994). Kadmium adalah salah satu logam berat yang memiliki potensi berbahaya yang sangat tinggi kepada manusia dan lingkungan. Logam berat ini dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan kanker. Pemaparan kronis dari kadmium yang lebih tinggi dapat menyebabkan gagal ginjal, kematian sel tulang dan kerusakan liver (Iqbal et al., 2007).

Logam berat dapat diakumulasi dalam jumlah besar dengan menggunakan berbagai mikroorganisme. Bakteri dan alga mempunyai kemampuan biosorpsi melalui metabolisme yang

dapat mereduksi logam berat tersebut (Bourquin, 2010). Pengolahan yang paling sederhana dan tidak membutuhkan biaya yang besar adalah pengolahan secara biologi (Yafeth, 2015). Metode pengelolaan secara biologi dapat dilakukan dengan proses bioremediasi logam berat pada lingkungan oleh agen biologis seperti alga, bakteri, atau jamur yang mampu menyerap logam berat. Pemilihan alga sebagai bioindikator dan remediator didasarkan pada pertimbangan bahwa alga merupakan organisme bersel tunggal yang luas permukaannya besar dibandingkan rasio volumenya sehingga memiliki kemampuan akumulasi tinggi dalam waktu yang relatif singkat terhadap zat organik maupun anorganik (Kullenberg, 1987).

Kemampuan remediasi logam berat oleh alga sangat baik bila di bandingkan dengan beberapa mikroba, jamur, karena struktur dinding sel alga terbentuk dari berbagai serat metrik polisakarida (Niczyporuk et al, 2012). *Chlorella vulgaris* adalah salah satu jenis alga bersel tunggal, mempunyai kemampuan produktifitas tinggi dan berkembangbiak dengan cepat (Venkataraman, 1969). *Chlorella vulgaris* merupakan salah satu spesies fitoplankton yang memiliki kemampuan bioakumulasi logam berat, mudah dibudidayakan, dan dapat digunakan sebagai prekursor biodiesel karena mengandung 20-50% lemak (Arifin, 1997). Selain *Chlorella vulgaris*, Alga *Spirulina platensis* juga dapat digunakan sebagai pengabsorpsi efektif dan ekonomis untuk ion Cd (II) dari larutan yang mengandung logam tersebut (Ghoneim M, 2014).

Pada penelitian Peter pada tahun 2015 disebutkan bahwa dalam keadaan pH optimum, *Chlorella vulgaris* dapat mengadsorpsi Cd(II) sebesar 161 mg/g, Pb(II) 144 mg/g dan Cu(II) 138 mg/g sedangkan *Spirulina platensis* dapat mengadsorpsi Cd(II) 201 mg/g, Pb(II) 270 mg/g, dan Cu (II) 165 mg/g.

Faktor penting yang mempengaruhi alga dalam metabolisme dan pertumbuhannya ada tiga yaitu: salinitas, suhu, dan penyinaran cahaya. Salinitas berpengaruh dalam tekanan osmosis media lingkungan hidup alga. Alga dapat bertumbuh dengan baik

apabila tekanan osmosis sel dalam alga sesuai dengan tekanan osmosis lingkungan perairan tempat hidupnya. Alga memiliki tempat hidupnya masing-masing dengan tingkat salinitas optimum yang berbeda-beda (Latala, 1997). Alga *Chlorella vulgaris* dapat hidup di air laut, air tawar, dan air payau dengan kondisi optimum adalah 10-20 psu. Alga *Spirulina platensis* juga dapat hidup di air laut, air tawar, dan air payau dengan tingkat ketahanan salinitas hingga 85 gram/l (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

Pada penelitian ini digunakan alga *Chlorella sp.* dan *Spirulina sp.* untuk mengetahui kemampuan dalam meremoval logam berat Kadmium. Konsorsium yang digunakan divariasikan komposisinya untuk melihat komposisi optimum dari konsorsium. Tingkat salinitas divariasikan juga karena tingkat salinitas merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan alga untuk mengetahui tingkat salinitas optimum yang mendukung pertumbuhan konsorsium alga tersebut. Hasil dari kajian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi untuk bioremediasi logam berat Cadmium divalen dengan agen biologis yang memiliki potensi removal tinggi dan mudah dibudidayakan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kemampuan konsorsium Alga *Chlorella vulgaris* dan Alga *Spirulina platensis* untuk meremoval logam berat Cadmium (II)
2. Keefektifan konsorsium Alga *Chlorella vulgaris* dan Alga *Spirulina platensis* dalam meremoval Cadmium (II) dalam media tumbuh salin yang bervariasi

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kemampuan konsorsium Alga *Chlorella* dan Alga *Spirulina platensis* untuk meremoval logam berat Cd(II)
2. Menentukan tingkat salinitas yang efektif untuk konsorsium Alga *Chlorella vulgaris* dan Alga *Spirulina platensis* dalam removal logam berat Kadmium

#### 1.4 Ruang Lingkup

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Dilakukan pada laboratorium Teknik Lingkungan ITS Surabaya
2. Jenis alga yang digunakan adalah *Chlorella vulgaris*, dan *Spirulina platensis*
3. Sampel limbah cair terbuat dari limbah cair buatan yang mengandung kadmium. Kadmium yang digunakan adalah dari larutan CdSO<sub>4</sub>
4. Parameter yang diteliti dalam penelitian ini adalah :
  - Kandungan logam berat kadmium (CdSO<sub>4</sub>)
  - Klorofil α
  - Jumlah sel alga
  - Salinitas
  - pH
  - Suhu
5. Variabel penelitian ini terdiri dari :
  - Variasi perbandingan komposisi konsorsium alga
  - Variasi salinitas media hidup konsorsium alga

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang kemampuan konsorsium alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dalam mereduksi logam berat yang terdapat pada air limbah
2. Memberikan alternatif penggunaan konsorsium alga dalam mereduksi logam berat kadmium

3. Memperbaiki kualitas lingkungan yang tercemar pada penelitian ini adalah air
4. Sebagai rekomendasi dalam meningkatkan kualitas air yang tercemar logam berat kadmium

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Logam Berat**

Logam berat merupakan komponen alami yang ada pada alam. Elemen ini tidak dapat dihancurkan maupun didegradasi. Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan, air, dan udara. Beberapa logam dibutuhkan oleh tubuh seperti tembaga, selenium, dan seng untuk membantu metabolisme dalam tubuh tetapi akan bersifat racun jika masuk ke dalam tubuh dalam konsentrasi yang berlebih. Logam berat berbahaya karena sistem bioakumulasi yaitu meningkatnya konsentrasi unsur kimia dalam tubuh makhluk hidup (Lina, 2008).

Logam berat adalah unsur yang mempunyai massa jenis lebih besar dari  $5 \text{ gr/cm}^3$  antara lain Cd, Hg, Pb, Zn dan Ni. Logam tersebut disebut dengan logam non esensial yang pada tingkat tertentu dapat beracun pada tubuh manusia (Subowo et al., 1999). Dalam kadar rendah logam berat pada umumnya sudah mencemari tumbuhan, hewan serta manusia. Logam berat yang sering dijumpai mencemari lingkungan adalah Hg, Cr, Cd, As, dan Pb (American Geological Institute, 1976). Logam berat mempunyai sifat bioakumulasi dan biomagnifikasi terhadap semua makhluk hidup. Bioakumulasi adalah pemupukan pencemar yang secara terus menerus dalam organ tubuh sedangkan biomagnifikasi adalah masuknya zat-zat kimia dari lingkungan karena adanya rantai makanan dan pada akhirnya tingkat konsentrasi zat kimia di dalam organisme sangat tinggi serta lebih tinggi dari bioakumulasi yang sederhana (Savitri, 2010).

#### **2.2 Karakteristik Logam Berat Kadmium**

Kadmium adalah salah satu logam berat yang memiliki potensi berbahaya yang sangat tinggi kepada manusia dan lingkungan. Logam berat ini dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan kanker. Pemaparan kronis dari kadmium yang lebih tinggi dapat

menyebabkan gagal ginjal, kematian sel tulang dan kerusakan liver (Iqbal et al., 2007).

Oleh karena itu ion Cd (II) dari limbah industri perlu dipisahkan terlebih dahulu dari lingkungan perairan dan *recovery* dari logam ini dapat dipergunakan dengan pertimbangan ekonomi. Biosorpsi dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang paling ekonomis dan efisien untuk *removal* Cd (II) (Vilar et al., 2008; Vankar et al., 2013).

Pada disertasi Alfandi pada tahun 2010 mengenai Kajian Sebaran Kadmium Dalam Sayuran Dan Tanah Di Bantaran Sungai Cikarang Bekasi Laut (CBL) pada perairan Sungai Cikarang Bekasi Laut terdapat konsentrasi Kadmium rata-rata sebesar 0,013 mg/L yang sudah melampaui baku mutu air kelas IV sedangkan dosis maksimum Kadmium dalam air minum yang direkomendasikan oleh World Health Organization adalah 0,005 mg/L (Edris et al., 2014). Logam berat Kadmium ini diserap oleh tumbuhan yang berada di sekitar sungai seperti bayam, kangkung, dan caisin sebesar rata-rata 0,53 mg/kg di bagian akar dan 0,32 mg/kg di bagian tajuk. Keadaan ini akan sangat menjadi masalah apabila tumbuhan sekitar sungai tercemar logam berat dikonsumsi oleh manusia.

### **2.3 Alga dan Konsorsium Alga**

Alga merupakan organisme yang memiliki karakteristik seperti tumbuhan yaitu memiliki pigmen klorofil. Alga secara morfologi dapat terbagi menjadi dua golongan yaitu mikroalga (alga dengan ukuran mikroskopis) dan makroalga (alga yang berukuran makro). Mikroalga merupakan tumbuhan thalus yang berklorofil dan mempunyai pigmen tumbuhan yang dapat menyerap cahaya matahari melalui proses fotosintesis. Hidup di air tawar, payau, laut dan hidup secara tersetrial, epifit, dan epizoic.

Mikroalga dikenal sebagai fitoplankton yang memiliki zat hijau daun (klorofil) yang berperan untuk menghasilkan bahan organik dan oksigen dalam air. Sebagai dasar mata rantai pada siklus makanan laut, fitoplankton menjadi makanan alami bagi zooplankton, selain itu juga dapat digunakan sebagai indikator

kesuburan suatu perairan, Dewasa ini alga sudah banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan manusia sebagai makanan suplemen, pengolahan limbah logam berat, dan sumber energi alternatif biodiesel. Kebermanfaatan alga tersebut didukung oleh sel alga yang mengandung kadar asam amino esensial dan mineral yang cukup untuk dijadikan sebagai suplemen makanan. Kandungan lemak di alga juga cukup untuk dimanfaatkan sebagai prekursor biodiesel (Radhakrishnan, 2017).

Alga biasanya diklasifikasikan berdasarkan pigmen dominan yang dibedakan menjadi enam filum yaitu *Euglenophyta* (alga hijau terang), *Chrysophyta* (alga keemasan), *Pyrrophyta* (ganggang api), *Chlorophyta* (alga hijau), dan *Phaeophyta* (alga coklat). Perbedaan utama yang terdapat pada filum alga ini adalah dominansi pigmen. *Chlorella vulgaris* yang akan digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam *Chlorophyta* yang memiliki pigmen klorofil a yang paling banyak. Selanjutnya *Chlorella vulgaris* akan dikonsorsiumkan dengan *Spirulina platensis* yang termasuk ke dalam *Cyanobacteria* (alga hijau biru).

Mixed culture adalah kumpulan atau gabungan dari sejumlah organisme yang sama jenis dan membentuk komunitas dari sejumlah populasi yang berbeda. Mikroorganisme dapat berasosiasi dengan mikroorganisme lain secara fisik melalui dua mekanisme yaitu keberadaan mikroorganisme yang memiliki ukuran kecil pada permukaan organisme lain yang berukuran lebih besar disebut ectosymbiosis. Mekanisme lain adalah keberadaan mikroorganisme pada organisme lain yang disebut sebagai endosymbiosis. Mixed culture diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu bersifat positif seperti mutualisme, komensalisme, syntrofisme, protokooperasi, maupun bersifat negatif yaitu predasi, parasitisme, amensalisme, kompetisi (Prescott *et al.*, 2013).

## **2.4 Karakteristik *Chlorella vulgaris***

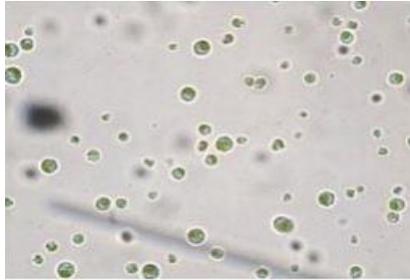
*Chlorella vulgaris* merupakan salah satu jenis alga/fitoplankton yang biasa terdapat di perairan dengan sistem taksonomi sebagai berikut:

Filum : *Chlorophyta*  
Kelas : *Chlorophyceae*  
Ordo : *Chlorococcales*  
Familia : *Chlorellaceae*  
Genus : *Chlorella*  
Spesies : *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* adalah jenis ganggang hijau sel tunggal berbentuk bulat dengan diameter sekitar 2-10  $\mu\text{m}$  tanpa flagela dapat hidup di air laut, air payau, dan air tawar. *Chlorella* mengandung pigmen fotosintesis klorofil-a dan b di kloroplasnya. Air limbah dapat digunakan sebagai sumber nutrisi alternatif untuk alga *Chlorella*, dimana limbah akan terbioremediasi sebelum dibuang (Man,2016).

*Chlorella vulgaris* Beijerinck dimanfaatkan secara komersial karena tingginya nilai gizi yang dimiliki. Alga ini mengandung protein, karbohidrat, lemak, vitamin, mineral, asam amino esensial, asam lemak esensial, enzim, beta karoten dan klorofil sehingga banyak digunakan sebagai pakan ikan, suplemen makanan, bahan penawar berbagai penyakit, bahan untuk biofuel dan bioremediator (Phukan et.al., 2011).

Alga uniseluler ini berbentuk simpel, fotosintetik, sehingga banyak dikembangkan dalam pengolahan limbah. Alga ini mudah diperoleh di tempat-tempat pembudidayaan sumber daya laut meskipun secara alami juga banyak terdapat di perairan. Sel *Chlorella* berbentuk bulat, hidup soliter, berukuran 2-8  $\mu\text{m}$ . Dalam sel *Chlorella* mengandung 50% protein, lemak serta vitamin A, B, D, E dan K, disamping banyak terdapat pigmen hijau (klorofil) yang berfungsi sebagai katalisator dalam proses fotosintesis Sel *Chlorella* umumnya dijumpai sendiri, atau kadang-kadang bergerombol. Protoplast sel dikelilingi oleh membran yang selektif, sedangkan di luar membran sel terdapat dinding yang tebal terdiri dari selulosa dan pektin.



**Gambar 2.1 Chlorella dengan Perbesaran 100 x 10**

Dinding sel *Chlorella vulgaris* disebut juga sebagai agen kelat. Fitoplankton dapat digunakan sebagai agen kelat bagi logam berat yang terlarut dalam badan air. Beberapa senyawa organik dalam tubuh fitoplankton, termasuk klorofil, mampu mengikat logam berat membentuk senyawa kompleks melalui gugus-gugus yang reaktif terhadap logam berat seperti 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 kondisi fisiologisnya. Melalui proses aktif *Chlorella vulgaris* khususnya dapat mensintesis protein pengkelat logam (Purnamawati, 2013).

Di dalam sel terdapat suatu protoplast yang tipis berbentuk seperti cawan atau lonceng dengan posisi menghadap ke atas. Pirenoid-pirenoid stigma dan vakuola kontraktif tidak ada. Warna hijau pada alga ini disebabkan karena kandungan klorofil a dan b dalam jumlah yang besar, di samping karotin dan xantofil (Volesky, 1990). Pada jurnal Ying Shen et al., 2017 dengan penelitiannya mengenai biosorpsi kadmium dari larutan cair dengan menggunakan *Chlorella sp* dan tumbuhan perairan *Hyacinthus* didapatkan bahwa *Chlorella* dapat menyerap kadmium sebesar 169,92 mg/gr kadmium.

### **2.5 Karakteristik *Spirulina platensis***

*Spirulina* merupakan alga bersifat multiseluler yang termasuk dalam golongan cyanobacterium mikroskopik berfilamen, memiliki lebar spiral antara 26-36  $\mu\text{m}$  dan panjang spiralnya antara 43-57

µm. *Spirulina* secara alami hidup di perairan tawar hingga salinitas tinggi (salinitas 15-30 psu) dengan taksonomi sebagai berikut :

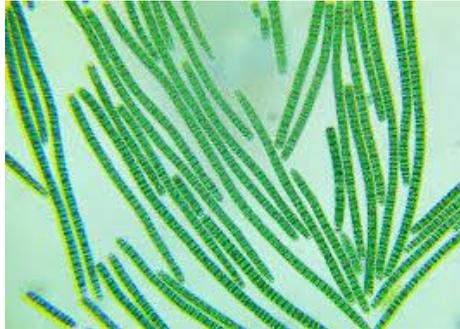
- Divisi : Cyanophyta
- Kelas : Cyanophyceae
- Ordo : Nostocales
- Famili : Oscillatoriaceae
- Genus : *Spirulina*
- Spesies : *Spirulina platensis*

Ciri-ciri morfologis yaitu filamen yang tersusun dari trikoma multiseluler berbentuk spiral yang bergabung menjadi satu, berkoloni, autotrof dan kehijauan. Filamen *Spirulina platensis* hidup berdiri sendiri dan dapat bergerak bebas. Struktur selnya hampir sama dengan tipe sel alg lainnya dari golongan *cyanobacteria*. Dinding sel merupakan dinding sel gram negatif yang terdiri dari 4 lapisan dengan lapisan utama dari peptidoglikan. Bagian tengah dari nukleoplasma mengandung beberapa karboksosom, ribosom, dan badan silindris. *Spirulina platensis* mempunyai kemampuan untuk berfotosintesis dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dengan menggunakan pigmen klorofil a dan c.

Analisis kimia dari *Spirulina* sp. dimulai pada tahun 1970 yang menunjukkan *Spirulina* sp. sebagai sumber yang sangat kaya protein, vitamin dan mineral. Kandungan protein pada *Spirulina* sp. berkisar antara 60% -70% dari berat kering, mengandung provitamin A tinggi, sumber  $\beta$ -karoten yang kaya vitamin B12 dan digunakan dalam pengobatan anemia, kandungan lipid sekitar 4-7%, serta karbohidrat sekitar 13,6%. *Spirulina* sp. juga mengandung kalium, protein dengan kandungan Gamma Linolenic Acid (GLA) yang tinggi serta vitamin B1, B2, B12 dan C), sehingga sangat baik apabila dijadikan pakan ataupun bahan untuk makanan dan obat-obatan (Ali dan Saleh,2012)

Dinding sel yang terdiri dari peptidoglikan ini dapat mengikat ion-ion organik dan anorganik. Logam berat Cadmium termasuk salah satu ion anorganik yang dapat diikat oleh *Spirulina platensis* dan mengabsorpsinya ke dalam organel sel. Kemampuan ini membuat *Spirulina platensis* menjadi ahen biologis yang digunakan sebagai absorber logam-logam berat pada limbah cair.

Alga jenis ini termasuk alga yang mudah untuk dibudidayakan, karena budidayanya dapat dilakukan di dalam maupun di luar ruangan, dan pemanenannya mudah dilakukan (Ria et al., 2011).



**Gambar 2.2 Sel Spirulina**

(Sumber : Ria et al., 2011)

## **2.6 Faktor Tumbuh Mikrolga**

### **2.6.1 Aerasi**

Dalam aerasi, selain terjadi proses pemasukan gas-gas yang diperlukan dalam proses fotosintesis juga kan timbul gesekan-gesekan antara gelembung udara dan molekul-molekul air sehingga terjadi sirkulasi air. Hal ini sangat penting untuk mempertahankan suhu tetap homogen serta penyinaran dan nutrisi tetap merata, dan pencegahan pengendapan plankton (Jelantik 2013).

Waktu aerasi yang paling efisien untuk pertumbuhan alga adalah 12 jam per hari, gerakan air diperlukan untuk mempercepat difusi gas dan ion-ion di dalam air. Dengan lancarnya difusi gas dan ion-ion dalam air. Dengan lancarnya difusi gas dan ion-ion yang diperlukan oleh alga maka pertumbuhan alga akan menjadi lebih cepat (Ambas 2010).

### **2.6.2 Pencahayaan**

Pencahayaan merupakan parameter paling penting untuk perkembangan alga. Cahaya dapat diberikan secara kontinyu atau

dalam siklus gelap-terang. Selagi konsentrasi sel berubah maka kebutuhan cahaya pun akan berubah. Alga harus mendapatkan cahaya yang cukup untuk kebutuhan perkembangan. Salah satu sumber cahaya alternatif yang dapat digunakan untuk perkembangan alga adalah Light Emitting Diodes (LEDs) (Wang et al., 2007).

Penggunaan cahaya yang optimum dalam pertumbuhan alga *Chlorella* adalah dengan penggunaan cahaya LEDs 6000-7000 lux dengan periode penyinaran 24 jam, di atas dari 7000 lux akan menghambat perkembangan alga (Triatmojo dan Tangahu, 2017).

### **2.6.3 Salinitas**

Salinitas berpengaruh dalam tekanan osmosis media lingkungan hidup alga. Alga dapat bertumbuh dengan baik apabila tekanan osmosis sel dalam alga sesuai dengan tekanan osmosis lingkungan perairan tempat hidupnya. Alga memiliki tempat hidupnya masing-masing dengan tingkat salinitas optimum yang berbeda-beda. (Latala,1997). Alga *Chlorella vulgaris* dapat hidup di air laut, air tawar, dan air payau dengan ketahanan hingga 35 mg/l. Alga *Spirulina platensis* juga dapat hidup di air laut, air tawar, dan air payau dengan tingkat ketahanan kadar garam hingga 85 gram/l (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

### **2.6.4. pH dan Temperatur**

Suhu antara 20-29 ° C merupakan suhu yang optimal untuk algae dan suhu yang lebih rendah akan menghasilkan penurunan metabolisme dan pertumbuhan (Bitton,2005). Ph optimum untuk pertumbuhan alga *Chlorella sp* dan *Spirulina sp* adalah 6,8-8,7, pH yng terlalu tinggi dapat mengakibatkan terbentuknya inorganic carbon sehingga alga tidak dapat memanfaatkan senyawa carbon dalam proses fotointesis dan proses uptake nutrien pun terhambat (Wong,2007). Media hidup alga cenderung akan meningkat pH nya dikarenakan adanya penguraian senyawa protein atau nitrogen organik seperti amonium.

### 2.6.5. Sumber Nutrien

Sumber nutrien untuk alga harus berdasarkan rasio tertentu. Rasio N:P:C yang paling cocok untuk alga adalah 16:106:1 (Pufelski et al., 2010). Biomassa alga sekitar 50 % terbuat dari Carbon, sehingga dibutuhkan dalam jumlah yang banyak untuk pertumbuhan alga yang baik (Becker, 1994). Alga membutuhkan CO<sub>2</sub> sama seperti tumbuhan untuk melakukan fotosintesis. Sumber karbon dapat ditambahkan sebagai CO<sub>2</sub> ke dalam media tumbuh alga atau sebagai sumber bahan organik seperti gula. CO<sub>2</sub> alami yang didapatkan dari udara bebas tidak cukup untuk mendukung pertumbuhan optimal (Stina Mansson, 2012).

Sumber nutrien yang dibutuhkan biasanya dicampurkan dengan media tumbuh alga. Pupuk Walne digunakan sebagai tambahan nutrisi bagi sel *Chlorella vulgaris* untuk tumbuh. Meskipun larutan Walne bukanlah yang terbaik, namun pupuk ini paling sering digunakan dalam pemeliharaan kultur *Chlorella vulgaris* karena mengandung berbagai macam nutrisi yang dibutuhkan sel *Chlorella vulgaris*, sehingga sel mudah menyesuaikan dengan kondisi intra selnya untuk proses penyerapan unsur hara secara difusi (Dianursanti, 2012). Dalam larutan Walne juga terdapat beberapa mineral lain seperti Na, Zn, Fe, Cu, Co, yang dibutuhkan untuk metabolisme sel.

## 2.7 Laju Pertumbuhan Alga

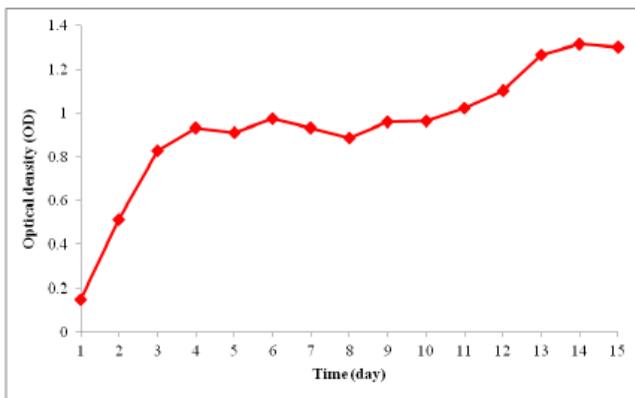
### 2.7.1 *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* berkembangbiak secara vegetatif. Masing-masing sel induk membelah menghasilkan 4, 8, atau 16 autospora yang dibebaskan bersama dengan pecahnya dinding sel induk. Perkembangbiakan sel ini diawali dengan pertumbuhan sel yang membesar. Periode berikutnya adalah terjadinya peningkatan aktivitas sintesa sebagai bagian dari persiapan pembentukan autospora yang merupakan tingkat pemasakan akhir yang akan disusul oleh pelepasan autospora (Bold dan Wynne, 1985).

Populasi *Chlorella* menurun secara tajam sejak hari pertama inokulasi hingga hari ke empat. Pertumbuhan dan perkembangan *Chlorella vulgaris* memiliki waktu regenerasi yang cepat. Sehingga, dalam waktu yang relatif singkat, perkembangan

sel *Chlorella* akan terjadi secara cepat terutama apabila terdapat sumber energi berupa cahaya maupun nutrisi yang melimpah. Pada umumnya, perkembangan dan perbanyakan sel *Chlorella* terjadi dalam kurun waktu 4 – 14 jam tergantung pada lingkungan pendukungnya (Surawiria, 1986).

Sejumlah kecil *Chlorella vulgaris* yang diinokulasikan ke dalam medium kultur terbatas dan jumlah sel *Chlorella vulgaris* dihitung sebagai fungsi waktu, dapat diketahui pola pertumbuhan berdasarkan jumlah sel yang dapat dikelompokkan menjadi 5 fase yaitu fase tunda (*lag phase*), fase eksponensial (*log phase*), fase penurunan laju pertumbuhan, fase stasioner dan fase kematian (Fogg, 1975).



**Gambar 2.3 Kurva Pertumbuhan *Chlorella vulgaris***

Sumber : Ramaraj, *et.al.*, 2014

1. Fase Tunda (*lag phase*)

Fase tunda merupakan waktu yang diperlukan oleh *Chlorella vulgaris* yang diinokulasikan ke dalam sebuah media tumbuh untuk beradaptasi dengan lingkungannya. Fase ini juga dapat disebut fase aklimatisasi sebelum pembelahan dan perkembangbiakan sel dilakukan. Pada fase adaptasi sel mengalami defisiensi enzim atau koenzim, sehingga harus disintesis terlebih dahulu guna berlangsungnya aktivitas biokimia sel selanjutnya (Madigan, *et.al.*, 2000).

## 2. Fase Eksponensial (*log phase*)

Pada fase eksponensial, peningkatan jumlah sel berkembang pesat. Sel-sel pada fase ini membelah dengan kecepatan maksimum dan peningkatan aktivitas fotosintesis. Aktifitas fotosintesis tersebut menyebabkan meningkatnya produksi protein dan komponen-komponen lainnya pada protoplasma yang berperan dalam proses pertumbuhan. Kandungan protein pada fase ini memiliki jumlah yang lebih tinggi daripada fase stasioner (Fogg dan Thake, 1987).

## 3. Fase Stasioner

Fase stasioner terjadi dimana jumlah antara sel *Chlorella vulgaris* yang berkembang sebanding dengan yang mati. Pada fase ini perkembangan dan pertumbuhan sel berlangsung lambat (Madigan, *et.al.*, 2000). Menurunnya laju pertumbuhan sel *Chlorella vulgaris* diakibatkan oleh kurangnya nutrisi dan terbentuknya senyawa metabolit sekunder, dimana senyawa tersebut akan terakumulasi di dalam media kultur dan menghambat metabolisme sel (Pelczar dan Chan, 1986).

## 4. Fase Kematian

Setelah fase stasioner, akan terjadi pengurangan jumlah sel secara bertahap. Sel-sel mati dengan kecepatan yang bervariasi, bergantung pada jenis dan kondisi lingkungan (Sarles, *et.al.*, 1956). Adapun beberapa faktor yang dapat menyebabkan kematian sel adalah jumlah nutrisi yang berkurang, jumlah suplai CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang berkurang, perubahan pH media, dan rendahnya penetrasi cahaya yang dipengaruhi oleh kerapatan sel (Fogg dan Thake, 1987).

Dari fase- fase hidup alga yang sudah dijabarkan dapat disimpulkan bahwa waktu yang terabik untuk pemanenan alga *Chlorella vulgaris* dalam reaktor skala laboratorium adalah 4 hari (Saavedra dan Voltolina, 2005).

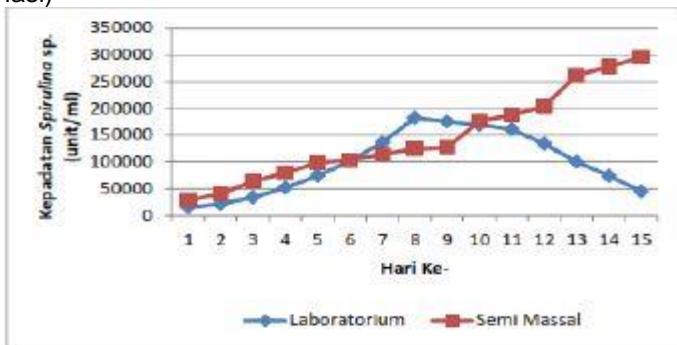
### 2.7.2 *Spirulina platensis*

Selama pertumbuhannya alga mengalami beberapa fase pertumbuhan. Dalam penelitian Richie Haryati pada tahun 2008 mengenai pertumbuhan dan biomassa *Spirulina sp* dalam skala laboratoris diperoleh hasil bahwa kepadatan populasi yang digunakan pada awal kultur spirulina sp sebanyak 1000 unit/ml dalam waktu satu hari jumlahnya mencapai 1,516. 10<sup>3</sup> unit/ml.

Selama waktu tersebut *Spirulina sp* menunjukkan fase kelambanan (lag fase), yaitu tahap dimana sel-sel *Spirulina sp* menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya. Pada pengamatan hari kedua sampai hari kelima, jumlah *Spirulina sp* mengalami kenaikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan *Spirulina sp* berada pada fase percepatan (eksponensial fase). Pada fase ini sel-sel *Spirulina sp* mengalami pembelahan. Adanya pembelahan sel ini menyebabkan pertumbuhan spirulina sp berjalan dengan cepat.

Pada hari ke-tujuh sampai hari ke-delapan pertumbuhan *Spirulina sp* mengalami fase eksponensial dan diatas hari ke-delapan mengalami perlambatan. Perlambatan ini disebabkan karena jumlah nutrient dalam medium sudah semakin berkurang, tetapi walaupun demikian sel-sel spirulina sp masih dapat membelah tetapi jumlah tidak sebanyak pada fase percepatan. Setelah hari kesembilan pertumbuhan memasuki fase stasioner, dimana kecepatan pertumbuhan *Spirulina platensis* sudah mulai menurun secara bertahap.

Data hasil pengukuran kepadatan sel menunjukkan bahwa populasi tertinggi (puncak) kultur *Spirulina platensis* dalam skala laboratorium terjadi pada hari ke-7 dan ke-8. Fase adaptasi terjadi pada hari pertama dan kedua, kemudian fase eksponensial dimana terjadi peningkatan jumlah kepadatan adalah pada hari ke-3 hingga ke-8. Fase stasioner adalah fase saat jumlah populasi cenderung tetap terjadi pada hari ke-8 hingga ke-11, selanjutnya pada hari ke-12 hingga hari ke-15 akan terjadi fase kematian (deklinasi)



**Gambar 2.4 Kurva Pertumbuhan *Spirulina platensis***

Sumber : Buwono et al., 2018

## 2.8 Ketahanan Alga terhadap Logam Berat

Untuk mengetahui ketahanan alga terhadap logam berat Cd(II) maka diperlukan uji resistensi untuk mengetahui konsentrasi maksimum yang dapat ditolerir oleh *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*. Uji resistensi atau *Range Finding Test* dapat dilakukan dimuali dari konsentrasi yang kecil, hingga besar dengan rasio 1.5 hingga 2. Tingkat ketahanan *Chlorlla vulgaris* terhadap logam berat Cadmium adalah sebesar 100 mg/l (dengan rasio pertumbuhan yang dihasilkan sebesar 100% Zulaika dan Kusuma,2014). Tingkat ketahanan *Spirulina platensis* sebagai agen remediasi terhadap logam berat Cadmium yang tidak menghambat tingkat pertumbuhannya adalah sebesar 20 mg/l (Awalina,2011).

## 2.9 Biosorpsi Alga dan Penerapannya pada Instalasi Pengolahan Air Limbah

Fitoplankton atau alga seperti halnya organisme lain memiliki mekanisme perlindungan untuk biosorpsi logam terjadi karena adanya senyawa ion kompleks logam yang bermuatan positif dengan pusat aktif alga yang bermuatan negatif pada permukaan dinding sel atau polimer ekstraseluler seperti protein dan polisakarida sebagai sumber gugus fungsi yang berperan dalam mengikat ion logam. Proses penyerapan ini dapat berlangsung cepat pada sel yang hidup maupun mati (Volesky,2000).

Pada alga terjadi proses absorpsi yaitu penyerapan partikel sampai ke bawah permukaan suatu zat absorpsi adalah proses dimana fluida dilarutkan oleh cairan maupun padatan yang berlaku sebagai penyerap. Absorpsi terjadi ketika atom melewati atau masuk ke dalam suatu benda saat penyerapan molekul larut seluruhnya dan disebar dalam penyerap. Setelah terlarut maka molekul tersebut tidak mudah dipisahkan dengan penyerapannya (Azizah,2010). Alga jenis *Spirulina* dan *Chlorella* digunakan oleh banyak peneliti untuk menguji kemampuan removal logam berat dari air tercemar.

Kemampuan alga dalam mengabsorpsi zat pencemar dalam limbah cair dapat dimanfaatkan sebagai agen remediasi dalam proses biologis pengolahan air limbah. Salah satu contohnya adalah pada kolam oksidasi. Bentuk-bentuk dan prinsip kolam

oksidasi yang dapat ditambahkan alga sebagai agen bioremediasinya adalah sebagai berikut :

a. *Aerobic Pond Tipe High Rate*

Bentuk pengolahan ini membutuhkan area luas dengan kedalaman yang dangkal sehingga memaksimalkan produksi alga dikarenakan jarak yang lebih dekat dengan cahaya. Kondisi aerobik terpelihara dengan adanya alga dan bakteri.

b. *Stabilisation Pond*

Kolam dengan kedalaman 1,5 m ini biasanya ditambahkan pompa atau surface aeration. Prinsip pengolahan yaitu terjadinya pengoksidasian bahan organik oleh bakteri aerobik dan fakultatis dengan menggunakan oksigen oleh alga.

c. *Fakultatif Pond*

Kolam ini memiliki kedalaman 1-2,5 m yang terbagi menjadi 3 zona yaitu aerobik, fakultatif, dan anaerobik.

Kolam oksidasi merupakan reaktor pengolahan air limbah yang paling sederhana. Sebagian besar limbah cair dapat ditangani dengan mudah oleh sistem biologis karena polutan berupa bahan organik dan anorganik bahkan logam berat dapat diremediasi oleh bakteri dan alga. Prinsip pengolahan yang terjadi adalah penguraian secara sempurna senyawa organik oleh bakteri dan alga yang dipengaruhi oleh jumlah nutrisi dan jumlah oksigen. Pemenuhan oksigen dapat diperoleh dari proses difusi dari permukaan air kolam, pengadukan oleh pengaruh angin dan hasil fotosintesis dari keberadaan alga. Organisme heterotrof aerobik dan aerobik berperan dalam proses konversi bahan organik; organisme autotrof (fitoplankton, alga, tanaman air) mengambil bahan anorganik (nitrat dan fosfat) dan logam berat melalui proses biosorpsi dan juga melalui proses fotosintesis. (Budiyanto,2011)

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Pada dasarnya, penelitian sejenis masih cukup jarang dilakukan. Beberapa penelitian sejenis lebih mengutamakan penyisihan nutrisi oleh *single culture* bakteri dan alga. Namun, juga terdapat beberapa penelitian sejenis yang memanfaatkan konsorsium bakteri dan alga dalam proses penyisihan logam berat. Data lengkap mengenai penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu**

No	Alga yang Digunakan	Waktu	Kemampuan Penyisihan	Peneliti
1	<i>Chlorella vulgaris</i>	7 hari	74%	Ying Shen et al., 2007
2	<i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Spirulina platensis</i>	24 jam	204 mg/gr dan 161 mg/gr	Peter et al., 2014
3	<i>Spirulina platensis</i>	6 jam	63,64 mg/gr	Celekli dan Bozkurt, 2011
4	<i>Chlorella vulgaris</i>	24 jam	98,04 mg/gr	Rangsayatorn et al., 2002

Berdasarkan Tabel 2.1, dapat diketahui bahwa kemampuan alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dapat diturunkan sebesar rata-rata di atas 70 mg/gr Cd (II). Dengan landasan penelitian tersebut diharapkan konsorsium kedua alga tersebut dapat memberikan efisiensi removal yang tinggi juga.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

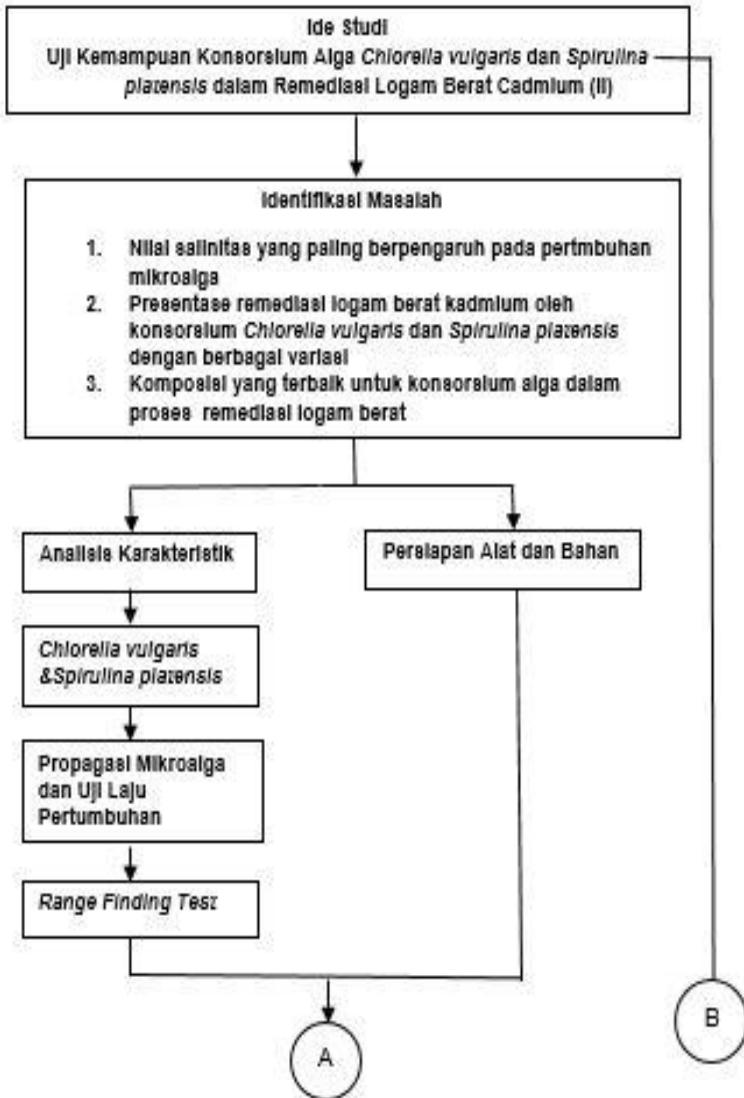
#### **3.1 Kerangka Penelitian**

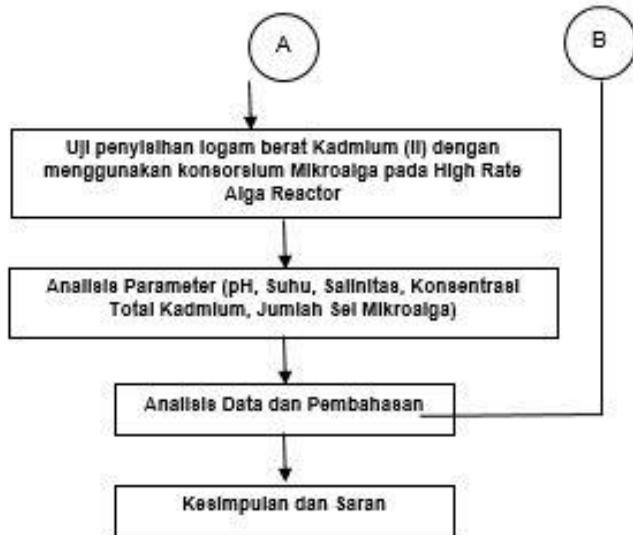
Penelitian ini membahas tentang biosorpsi alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* yang telah teruji dapat menyerap atau mereduksi logam berat yang terkandung dalam limbah cair maupun tanah tercemar. Kadmium yang digunakan berasal dari limbah cair buatan yang mengandung Kadmium (II). Kandungan logam berat yang teradsorpsi oleh konsorsium dianalisis dalam reaktor *High Rate Algal Reactor (HRAR)*. Setelah itu dianalisis parameter utama yaitu total logam berat kadmium (Cd) yang disisihkan dengan metode *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)*. Parameter pendukung yang diuji juga yaitu suhu, pH, salinitas, dan jumlah sel alga. Variabel yang digunakan adalah variasi salinitas dan variasi perbandingan konsorsium. Penelitian ini berskala laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Metode penelitian ini dibuat dalam kerangka penelitian berupa alur atau prosedur penelitian yang digunakan. Kerangka penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Gambaran awal dalam tahap penelitian sehingga dapat memudahkan dalam melakukan penelitian serta penulisan dalam laporan
2. Memudahkan dalam memahami penelitian yang akan dilakukan
3. Sebagai pedoman dalam penelitian sehingga kesalahan dapat dihindari.

Kerangka penelitian selanjutnya secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.1





**Gambar 3.1 Alur Penelitian**

Langkah penelitian ini menjelaskan mengenai tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Tujuan pembuatan tahapan penelitian ini adalah mempermudah pemahaman dan menjelaskan dalam deskripsi pada tiap tahapan. Langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

### **3.2 Tahap Penelitian**

#### **3.2.1. Ide Penelitian**

Penelitian ini membahas tentang metode bioremediasi limbah cair tercemar kadmium dengan konsorsium alga. Variabel penelitian ini adalah perbandingan campuran jenis alga, dan penambahan salinitas pada media tumbuh alga. Parameter yang akan diukur adalah konsentrasi kadmium, pH, suhu, klorofil a, dan jumlah alga. Hal ini dilakukan untuk mengetahui faktor lain yang mempengaruhi terdegradasinya kadmium oleh alga.

### **3.2.2 Studi Literatur**

Studi literatur berfungsi untuk membantu serta mendukung ide studi dan meningkatkan pemahaman yang lebih jelas terhadap ide yang diteliti.

## **3.3 Persiapan Alat dan Bahan**

### **3.3.1 Alat**

1. Peralatan reaktor, 12 wadah reaktor plastik kapasitas 12 L, aerator, dan timer
2. Peralatan laboratorium dalam analisis, micropipet 10 ml, micropipet ukur 1 ml, labu pengencer
3. Hemositometer dan mikroskop
4. Peralatan laboratorium dalam analisis AAS
5. Spektrofotometer visual
6. pH meter, dan thermometer
7. Salinometer

### **3.3.2 Bahan**

1. Larutan Salin
2. Larutan CdSO<sub>4</sub> (limbah kadmium)
3. Stok Biakan Alga *Chlorella vulgaris*, dan *Spirulina platensis*
4. Nutrien Pupuk Walne
5. Vitamin B12

## **3.4 Persiapan Penelitian**

Tahap persiapan adalah persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini :

- **Penyiapan Media Hidup Alga**

Pada penelitian ini digunakan tiga jenis media hidup alga, yaitu: air tawar atau air dengan kadar salinitas 0 psu, air payau atau air dengan kadar salinitas 20 psu, dan air laut atau air dengan kadar salinitas 35 psu. Variasi ini bertujuan untuk meninjau tingkat salinitas media alga yang paling efektif. Larutan salinitas yang digunakan adalah air laut alami yang sudah difilter.

Kadar salinitas air laut ini adalah 35 psu sehingga dapat langsung digunakan sebagai media pertama. Media yang kedua yaitu air payau dibuat dengan mencampurkan aquades dan air laut dengan rumus pengenceran agar mencapai 20 psu (terdapat pada lampiran). Media yang ketiga adalah aquades sebagai media air tawar dengan salinitas 0 psu.

- **Penyiapan Larutan Stok Kadmium**

Larutan kadmium dibuat dari kadmium sulfat  $\text{CdSO}_4$  yang dilarutkan dalam aquades. Larutan tersebut digunakan sebagai substrat yang akan disisihkan. Larutan stok  $\text{CdSO}_4$  dibuat dengan melarutkan 2,29 g  $\text{CdSO}_4$  padat dalam 1L akuades untuk mendapatkan larutan Cd(II) dengan konsentrasi 1000 ppm. Cara perhitungan terdapat pada lampiran A. Larutan stok ini kemudian diencerkan menggunakan rumus  $V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$  untuk memperoleh larutan logam berat dengan konsentrasi yang diinginkan. Larutan stok kadmium yang homogen kemudian disterilisasi dengan menggunakan *autoclave* pada suhu  $121^\circ\text{C}$  selama  $\pm 60$  menit. Setelah selesai, maka larutan stok kadmium siap untuk digunakan.

- **Reaktor untuk Alga**

Reaktor yang disiapkan untuk pertumbuhan Alga adalah 12 reaktor toples plastik berkapasitas 12 L, dan aerator sebagai alat yang menyuplai  $\text{CO}_2$  dan mengaduk media agar nutrisi dan substrat lainnya tercampur secara merata.

- **Pengondisian Pemaparan Sinar LED**

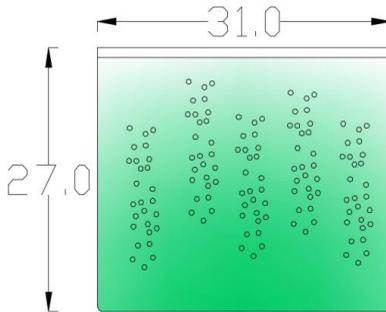
Sumber cahaya pemaparan yang digunakan adalah lampu meja dengan bola lampu LED 6000-7000 lux dengan lama pencahayaan 12 jam dibantu dengan pengatur timer berdasarkan kondisi optimum di penelitian terdahulu.

### **3.5 Tahap Uji Laju Pertumbuhan**

- **Propagasi Alga**

Proses propagasi dilakukan sebelum penelitian pendahuluan, proses ini dilakukan hingga kondisi alga mencapai steady state

dan banyaknya alga yang dibutuhkan untuk meremediasi jumlahnya cukup. Seeding dilakukan selama 1 minggu dengan penambahan pupuk Walne dan vitamin B12 sebagai nutrisi untuk alga. Reaktor propagasi yang digunakan adalah labu erlenmeyer dengan ukuran 2 liter sebanyak 6 buah.



**Gambar 3.2 Reaktor Propagasi Alga**

Langkah yang dilakukan dalam propagasi alga adalah menyiapkan air laut steril sebagai media hidup alga lalu menambahkan nutrisi pupuk walne sebanyak 1 ml dan vitamin B12 ke dalam sebanyak 1 mL/1L media. Kemudian bibit *Chlorella vulgaris* dan dengan perbandingan volume media:inokulum 70:30 masing-masing dimasukkan ke dalam reaktor tempat seeding. Bibit tersebut diperoleh dari Laboratorium Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Situbondo.

- Analisis Parameter pada Tahap Propagasi

Pertumbuhan alga dalam reaktor dapat diukur dengan parameter jumlah sel, kadar klorofil a, dan optical density. Ketiga parameter tersebut akan dilakukan pada uji laju pertumbuhan dan akan dilihat salah satu parameter yang paling efektif dalam menunjukkan pertumbuhan alga untuk selanjutnya digunakan pada tahap-tahap berikutnya.

Kepadatan unit awal dapat diukur dengan menggunakan *haemocytometer* dan mikroskop. Kultur sel *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dari hasil sampling diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam bidang *haemocytometer*. Cara penggunaan *haemocytometer* ini yaitu dengan cara meneteskan kultur sel alga yang akan dianalisa kepadatan selnya sebanyak satu tetes ke masing-masing bidang *haemocytometer*. Tutup dengan menggunakan kaca penutup preparat lalu kemudian dibaca dengan mikroskop. *Haemocytometer* yang telah diteteskan kultur sel alga ini diletakkan di bawah lensa objektif dan difokuskan hingga terlihat kisi-kisi tempat perhitungan sel yang terdiri dari lima kisi perhitungan. Kepadatan sel dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{n}{x} \times 10.000 = \text{sel/ml}$$

Keterangan:

n = total sel hasil perhitungan dalam setiap bidang

x = ruang yang dipakai untuk penghitungan

Pengukuran kepadatan unit dilakukan setiap hari untuk melihat fase eksponensial pada hari ke berapa dan melakukan panen pada sat setengah fase eksponensial. Pada tahap ini dilakukan juga analisis parameter kontrol seperti pH, suhu, dan salinitas.

### 3.6 Range Finding Test

*Range Finding Test* memiliki tujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat yang dapat ditoleransi alga agar alga dapat tetap hidup dan melakukan remediasi secara optimal. *Range Finding Test* dilakukan dengan menggunakan 5 rentang konsentrasi yang berbeda untuk mengukur tingkat toksisitas air limbah kadmium terhadap alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*. Berdasarkan *USEPA Guidelines* 850.5400, jumlah konsentrasi yang divariasikan harus berjumlah 5 konsentrasi dengan rentang variasi mengikuti deret geometri dengan rasio 1,5-

2. Konsentrasi yang diuji adalah perbandingan antara konsentrasi limbah cair kadmium sebesar 0, 5, 10, 50, 100, dan 250 mg/L dalam labu erlenmeyer 250 mL yang berlangsung selama 7 hari. Namun jika dalam waktu 7 hari belum ditemukan alga yang mati melalui penghitungan sel, maka *range finding test* dilanjutkan setiap 24 jam sekali sampai batas waktu 14 hari.

Pada tahap ini dilakukan analisis parameter jumlah sel untuk melihat ketahanan alga melalui grafik pertumbuhan jumlah sel selama *range finding test*.

### 3.7 Tahap Penyisihan Logam Berat Kadmium (Cd<sup>2+</sup>)

Variabel penelitian yang digunakan adalah komposisi konsorsium alga dan tingkat salinitas yang dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Matriks Variabel Penelitian**

Tingkat Salinitas Komposisi	0 psu (0)	20 psu (20)	35 psu (35)
Tanpa Mikroorganisme(A)	0A	20 A	35A
Chlorella:Spirulina 25 :75 (B)	0B	20B	35B
50 : 50 (C)	0C	20C	20C
75 : 25 (D)	0D	20D	35D
Total reaktor			12 buah

Berdasarkan Tabel 3.1 maka kebutuhan reaktor pada penelitian ini sebanyak 12 reaktor. Reaktor yang digunakan adalah *High Rate Algal Reactor (HRAR)* secara *batch* dengan reaktor berukuran 12 Liter. Reaktor memiliki diameter 30 cm dan tinggi 27 cm. Paparan cahaya 6000 lux diberikan selama 12 jam sesuai dengan sistem *HRAR*. Intensitas cahaya yang digunakan didasarkan intensitas cahaya optimum yang mendukung

pertumbuhan alga pada penelitian yang telah dilakukan oleh Triatmojo dan Tangahu pada tahun 2016. Penelitian ini dilakukan selama 7 hari dikarenakan alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* memiliki fase pertumbuhan optimal selama 7 hari.

Tahapan selanjutnya setelah penyiapan reaktor dan pengkondisian sistem reaktor, disiapkan media dengan pencemar logam berat Cd(II) 10 mg/l. Media yang digunakan adalah air dengan variasi tingkat salinitas yang sudah steril. Logam berat Cd(II) yang berbentuk serbuk dimasukkan ke dalam reaktor dan diaduk dengan media agar tersebar secara merata. Volume dari media ini adalah 7,2 Liter dengan menggunakan perbandingan volume media pencemar : biakan alga = 90 :10.

Media pencemar yang sudah siap kemudian diinokulasikan alga dengan kepadatan 10000 sel/ml hasil dari propagasi yang sudah dilakukan sebanyak 800 ml berdasarkan perbandingan volume yang optimum yaitu 10:90. Biakan alga yang dimasukkan ini terlebih dahulu dihomogenkan di suatu wadah agar sedapat mungkin memiliki kepadatan yang sama.

Analisis parameter dilakukan setiap hari untuk melihat parameter suhu, pH, salinitas, dan jumlah sel, sedangkan untuk parameter total logam berat dilakukan pada hari ke-0, dan ke-7 agar dapat digambarkan grafik pertumbuhan alga dan penurunan konsentrasi Kadmium (II).

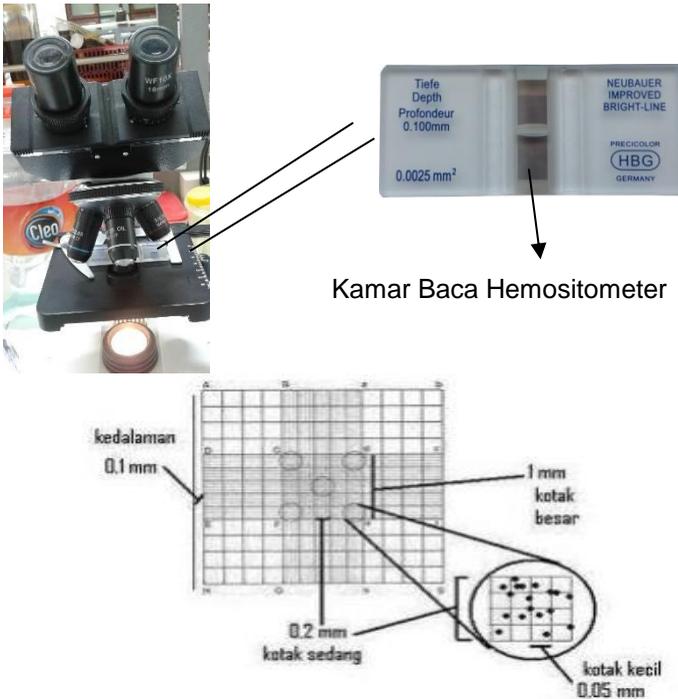
- Analisis Parameter

Parameter yang diuji dalam penelitian ini pengukuran dilakukan selama 7 hari. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah :

- a. Analisis Jumlah Sel Alga

Penghitungan jumlah sel dilakukan dengan *Haemocytometer* Neubauer Improved dan mikroskop elektron di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS. Cara penghitungan terdapat pada Lampiran Haemocytometer Neubauer Improved diletakkan di atas meja perparat mikroskop lalu dibersihkan dengan alkohol 95% dan kemudian ditambahkan 1 ml

kultur alga yang ingin dihitung jumlahnya ke atas bidang yang berisi kamar-kamar baca, setelah itu ditutup dengan kaca penutup dan diamati dengan perbesaran 100 x atau 400 x.



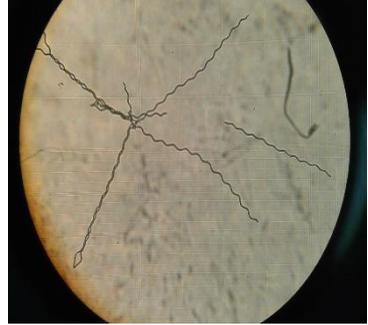
**Gambar 3.3 Peralatan untuk Menghitung Jumlah Sel Mikroskop dan Hemositometer Neubauer Improved**

Pembacaan jumlah sel pada penelitian ini difokuskan pada jumlah sel hidup saja. Pada kotak-kotak kamar baca akan terlihat setiap sel masing-masing *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*. Pengamatan sel di bawah mikroskop terlihat seperti gambar 3.4 dan 3.5. Sel hidup alga dihitung dengan menggunakan counter.

Sel yang terlihat di gambar a bentuknya adalah sel bulat kecil dengan bintik hijau di dalam nya yang menunjukkan sel masih hidup. Bintik hijau menunjukkan vakuola sel yang masih utuh dan terdapat klorofil di dalamnya. Setiap bentukan itu yang terdapat dalam kamar baca dihitung sebagai 1 sel *Chlorella vulgaris*.



**Gambar 3.4 Tampak Pengamatan Sel *Chlorella vulgaris* dengan Perbesaran 40x10 kali**



**Gambar 3.5 Tampak Pengamatan Sel *Spirulina platensis* dengan Perbesaran 40**

*Spirulina platensis* ditunjukkan oleh sel yang berbentuk spiral, panjang, beruas dan berwarna hijau dari 1 ujung spiral ke ujung lainnya dihitung sebagai 1 sel *Spirulina platensis*

b. Analisis pH

Pengukuran pH setiap harinya dilakukan dengan pH meter (pHS 3C Bench) di Laboratorium Remediasi Lingkungan.

c. Analisis Suhu

Pengukuran suhu dilakukan setiap hari dilakukan dengan menggunakan termometer (pHS 3C Bench)) di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

d. Analisis Salinitas

Pengukuran salinitas dilakukan setiap hari dengan menggunakan TDS meter yang memiliki fitur dan sensor salinometer di laboratorium Pemulihan Air, jurusan Teknik Lingkungan ITS

e. Analisis Total Kadmium

Pengukuran total kadmium dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-7 dianalisis dengan Atomic Absorption Spectrometry (AAS) (Shimadzu 62016/17 Japan) di Laboratorium Envilab Gresik bersertifikat resmi dari KAN. Hasil dan gambar alat terlampir di lampiran

f. *Analysis of Variance*

Analisis data dilakukan setelah mendapatkan data selama penelitian. Hasil analisis akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik serta dianalisis deskriptif. Kemudian dilakukan uji signifikansi data menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan analisis korelasi untuk menguji hubungan antara parameter. Output data yang akan dibahas adalah perbandingan kombinasi alga dan tingkat removal logam berat.

## BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Karakteristik Awal Nutrien Alga

Pada awal penelitian, dilakukan analisis karakteristik awal jenis nutrien yang digunakan pada literatur sebelumnya yaitu pupuk Urea sebagai sumber N, pupuk TSP (Tripel Superfosfat) sebagai sumber P dan gula sebagai sumber C. Tujuan dari analisis awal ini adalah untuk mengetahui apakah nutrien sudah dapat memenuhi kebutuhan *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* untuk bertumbuh. Dari nilai di atas dapat ditentukan seberapa banyak massa nutrien yang akan diambil berdasarkan rasio C:N:P menurut Redfield pada tahun 1985 yaitu sebesar 106:16:1.

Setelah digunakan nutrien berupa gula, urea, dan TSP dilakukan proses propagasi. Proses propagasi yang dilakukan pertama kali gagal, diindikasikan dari alga yang mati, dilihat dari buih yang ditimbulkan dan laju pertumbuhannya yang menurun berdasarkan hasil analisis klorofil (data terlampir di Lampiran B). Kegagalan propagasi ini disebabkan oleh nutrien yang dibutuhkan oleh alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* tidak hanya C,N,P namun ada beberapa logam lainnya.

Nutrien yang digunakan diganti menjadi pupuk walne dan vitamin B12. Penggunaan nutrien ini adalah 1ml/l inokulum. Kandungan dari pupuk walne adalah  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnC}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , Stok larutan vitamin, dan stok larutan logam mikro (Evi A, 2003). Pupuk Walne adalah nutrien yang paling sering digunakan dalam pemeliharaan kultur *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina Platensis* karena mengandung berbagai macam nutrisi yang dibutuhkan sel alga, sehingga sel mudah menyesuaikan dengan kondisi intra selnya untuk proses penyerapan unsur hara secara difusi (Dianursanti, 2012).

Penggunaan nutrien Walne dan vitamin B12 dapat memenuhi kebutuhan alga dilihat dari warna yang semakin pekat, jumlah sel pertumbuhan, dan analisis klorofil yang semakin

meningkat pada proses propagasi yang menggunakan pupuk Walne.

#### **4.2 Uji Laju Pertumbuhan Alga**

Uji laju pertumbuhan dilakukan untuk mengetahui fase eksponensial dari alga. Uji laju pertumbuhan dilakukan dalam labu erlenmeyer dengan ukuran 1 liter dengan media air laut yang disterilkan dengan tingkat salinitas 35 psu. Perbandingan inokulum alga dengan media yang optimal untuk *Spirulina platensis* dan *Chlorella vulgaris* 30:70 (Zhou, 2017). Reaktor propagasi dilengkapi dengan pencahayaan lampu LED 6000-7000 LUX selama 12 jam yang diatur dengan timer steker, dan aerator 24 jam (Tangahu dan Triatmojo, 2013). Nutrien yang diberikan ke dalam media adalah pupuk Walne dan Vitamin B12 masing-masing 1 ml per liter medianya.

Pada uji laju pertumbuhan dilakukan pengamatan terhadap laju pertumbuhan alga melalui konsentrasi klorofil, *optical density*, dan jumlah sel (kepadatan sel). Selama pertumbuhan alga berlangsung dilakukan analisis fase kehidupan dari alga, fase tersebut terdiri dari fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian. Hasil dari semua parameter yang mengukur kadar alga akan dilihat yang paling cocok untuk mengareahui fase eksponensial.

Pengamatan pertama yang dilakukan adalah pengamatan fisik. Pengamatan ini dilakukan setiap harinya pada jam yang sama untuk mendapatkan hasil yang akurat. Pengamatan fisik dari uji laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina patensis* selama 10 hari dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1 Pengamatan Uji Laju Pertumbuhan Alga**

Chlorella	Spirulina	Keterangan
		<p>Hari ke-0 Propagasi, warna media alga masih bening kehijauan</p>
		<p>Hari ke-1 Propagasi, warna media masih hijau bening belum tampak perubahan signifikan, namun di sepanjang selang aerator terlekat koloni alga</p>
		<p>Hari ke-2 Propagasi, reaktor yang berisi Chlorella semakin hijau pekat sedangkan reaktor yang berisi Spirulina masih bening namun kolonin alga yang terlekat di selang aerator semakin menebal</p>

Chlorella	Spirulina	Keterangan
		<p>Hari ke-3 Propagasi, reaktor yang berisi Chlorella semakin hijau pekat hampir tidak tertembus oleh cahaya, dan reaktor yang berisi Spirulina semakin hijau walaupun masih bening dan semakin banyak koloni alga yang terlekat</p>
		<p>Hari ke-5 Kedua reaktor warnanya sangat pekat tidak terlihat lagi koloni yang terpisah karena sudah saling menyatu dan tersebar merata di media</p>
		<p>Hari ke 6 Kedua reaktor sangat pekat dan ada sedikit buih kuning menunjukkan endapan garam sisa ekskresi sel alga yang semakin banyak</p>

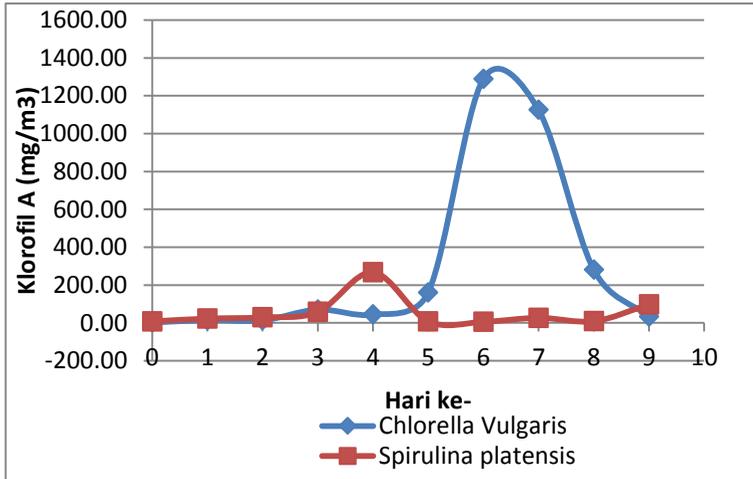
Chlorella	Spirulina	Keterangan
		<p>Hari ke-7 kedua reaktor sudah paling pekat dan tidak bisa ditembus cahaya</p>

Pengamatan fisik dari warna larutan propagasi (media dan algae) yang semakin lama semakin hijau pekat dapat menunjukkan bahwa alga yang diinokulasikan dapat bertumbuh dengan baik dengan sistem *HRAR* yang diterapkan. Pengamatan fisik ini tidak memberikan data terukur yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi optimum alga untuk dilakukan pemanenan. Pengamatan fisik dilanjutkan dengan analisis klorofil, jumlah sel, OD, pH dan suhu.

#### 4.2.1. Analisis Klorofil

Pengamatan fisik yang menunjukkan warna yang semakin hari semakin hijau dipengaruhi oleh klorofil. Perubahan warna pada proses propagasi alga terjadi karena dominasi pigmen klorofil yang berwarna hijau pada selnya (Borowitzka, 1988). Klorofil merupakan salah satu aspek penting pada pertumbuhan dan perkembangbiakan alga. Analisis klorofil dilakukan setiap hari selama tahap uji laju pertumbuhan. Prinsip metode yang digunakan untuk pengukuran klorofil secara spektrofotometri didasarkan ada penyerapan maksimum oleh ekstrak klorofil dalam aseton di daerah spektrum merah. Hasil ekstraksi dibaca pada panjang gelombang 664, 665, dan 750 nm yang kemudian dihitung menggunakan rumus Lorenzen (1967). Pada algae seperti *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*, klorofil a dijumpai dalam jumlah terbesar (dominan) sehingga parameter klorofil a dapat menjadi parameter yang presentatif untuk menunjukkan kadar alga dalam satu larutan (Sunijo, 2006).

Hasil dari analisis klorofil a selama uji laju pertumbuhan dapat dilihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.1.



**Gambar 4.1 Kadar Klorofil a *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* selama Uji Laju Pertumbuhan**

Grafik klorofil A *Chlorella vulgaris* menunjukkan ada 3 fase yang terjadi selama pertumbuhan alga. Fase yang terjadi adalah fase lag, fase eksponensial, dan fase penurunan. Fase lag terjadi pada hari ke-0 hingga hari ke-4 yaitu fase dimana alga mengalami adaptasi dengan media barunya, terjadi metabolisme dan namun belum terjadi pembelahan sel yang intensif. Pada hari ke-6 adalah fase eksponensial atau logaritmik dimana alga mengalami pembelahan sel secara intensif, kondisi ini adalah kondisi yang optimum untuk melakukan pemanenan karena jumlah sel alga yang terbanyak adalah pada fase ini. Dalam penelitian ini fase eksponensial untuk analisis klorofil dari *Chlorella vulgaris* adalah pada hari ke-6 dengan kadar klorofil sebesar 1289 mg/m<sup>3</sup>.

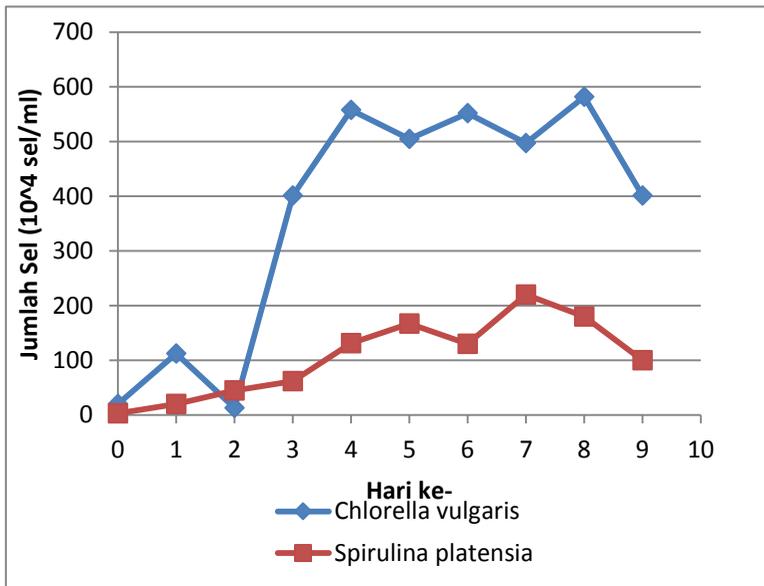
Kemudian dilakukan analisis klorofil a dengan metode yang sama pada *Spirulina platensis*. Grafik kadar klorofil *Spirulina*

*platensis* juga menunjukkan 3 fase yang sama dengan *Chlorella vulgaris* yaitu fase lag, fase eksponensial, dan fase penurunan. Fase eksponensial *Spirulina platensis* dicapai pada hari ke-5 dengan kadar klorofil sebesar 3676 mg/m<sup>3</sup>. Untuk fase di atas hari ke-5 hingga hari ke-10 adalah fase penurunan dimana laju pembelahan sel mengalami penurunan sehingga kadar klorofil juga mengalami penurunan. Analisis dan sampling dihentikan pada hari ke-8 karena sudah mendapatkan kondisi optimum untuk melakukan pemanenan berdasarkan analisis klorofil.

#### **4.2.2 Penghitungan Jumlah Sel**

Parameter yang dianalisis selanjutnya adalah jumlah sel. Penghitungan jumlah sel dilakukan dengan *Haemocytometer* dan Mikroskop. Analisis ini dilakukan setiap hari selama 7 hari untuk mendapatkan jumlah sel setiap hari dan fase hidupnya dapat ditentukan untuk mengetahui kondisi optimum dilakukan pemanenan (fase eksponensial). Penghitungan jumlah sel dapat secara akurat memberikan kadar alga dalam cairan, karena yang dihitung adalah jumlah organisme dari alga. Larutan alga harus homogen terlebih dahulu kepadatannya agar data yang dihasilkan dalam satuan sel/ml dapat presentatif dalam mengukur kadar klorofil dalam 1 reaktor. Pada *Chlorella vulgaris* berdasarkan parameter jumlah sel, fase eksponensialnya dicapai pada hari ke-5. Hasil jumlah sel ini juga dapat menunjukkan 3 fase dalam pertumbuhan alga yaitu: fase lag, fase eksponensial dan fase penurunan. Hari ke 0-3 menunjukkan fase lag, kemudian hari ke-4 menunjukkan fase eksponensial, dan hari ke 5 hingga hari ke 7 adalah fase penurunan. Jumlah sel pada hari ke-0 atau jumlah sel awal uji laju pertumbuhan adalah  $2 \times 10^5$  sel/ml, dan pada saat hari ke-4 atau puncak uji laju pertumbuhan didapatkan jumlah sel sebanyak  $55,75 \times 10^5$  sel/ml. Laju pertumbuhan dari awal hingga fase eksponensial adalah 38 x. Melalui parameter jumlah sel dapat diketahui fase eksponensial dari *Chlorella vulgaris* adalah hari ke-4.

Hasil analisis dapat dilihat pada gambar 4.2.



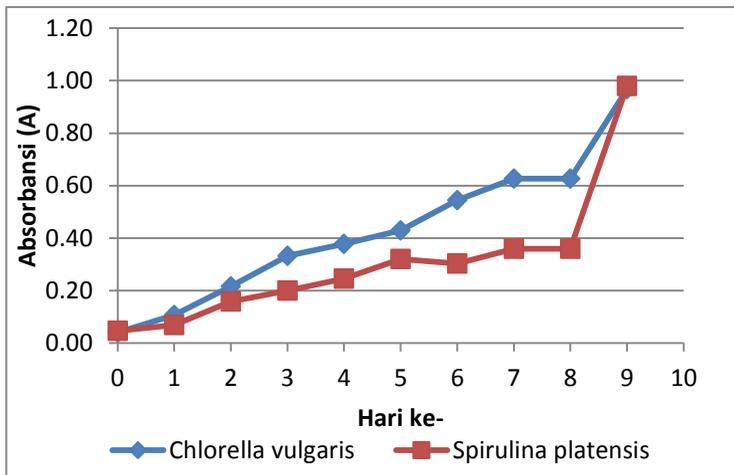
**Gambar 4.2 Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* berdasarkan Jumlah sel**

Sedangkan untuk *Spirulina platensis*, fase eksponensialnya adalah pada hari ke 7. Hasil jumlah sel ini juga dapat menunjukkan 3 fase dalam pertumbuhan alga yaitu: fase lag, fase eksponensial dan fase penurunan. Hari ke 0-6 menunjukkan fase lag, kemudian hari ke-7 menunjukkan fase eksponensial, dan hari ke 8 hingga hari ke 10 adalah fase penurunan. Melalui parameter jumlah sel dapat diketahui fase eksponensial dari *Spirulina platensis* adalah pada hari ke-7.

#### 4.2.3 Optical Density

Parameter yang dianalisis selanjutnya untuk melihat kadar alga adalah optical density. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri. Kultur alga masing-

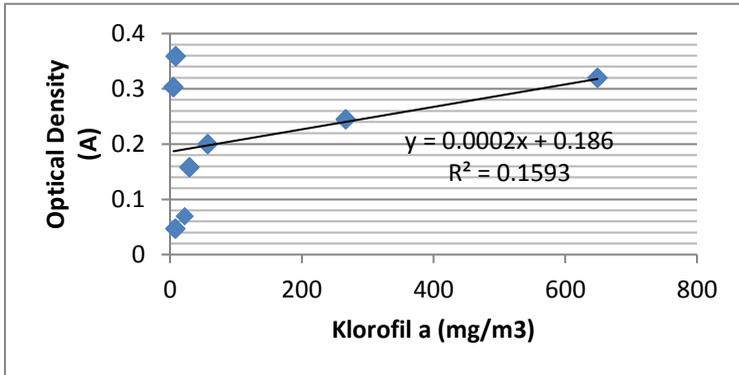
masing diambil sebanyak 5 ml dan dimasukkan ke dalam cuvette lalu diukur OD nya pada panjang gelombang 600 nm dan 560 nm untuk *Spirulina platensis*. Nilai absorbansi yang didapatkan adalah optical density tanpa harus dikonversi dengan rumus kalibrasi. Nilai OD dapat menunjukkan kadar alga dan laju pertumbuhan apabila dilakukan analisis selama fase hidupnya. Namun kadar OD sebenarnya menunjukkan kepekatan media propagasi yang mengandung jumlah total sel hidup dan sel mati alga yang tidak dapat dibedakan tanpa mikroskop sehingga parameter ini kurang akurat apabila dijadikan parameter analisis konsorsium alga. Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 4.3.



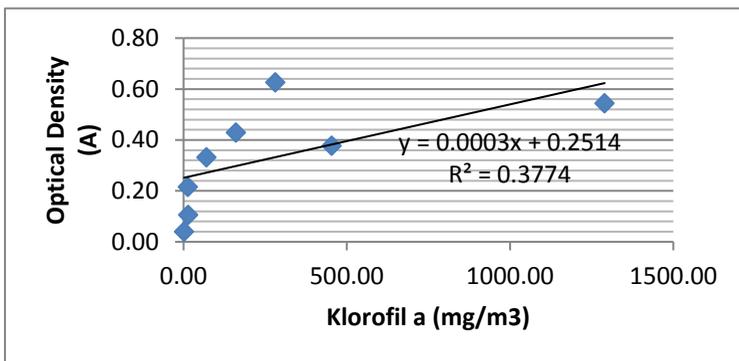
**Gambar 4.3 Optical Density *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis***

Semua parameter yang digunakan untuk mengetahui kadar kedua alga dengan tujuan mendapatkan laju pertumbuhan ini selanjutnya akan diregresikan dalam 1 grafik untuk melihat masa fase eksponensial yang akurat. Regresi yang didapatkan ini dapat memastikan hubungan yang linear atau tidak antara klorofil a, optical density, dan jumlah sel alga. Parameter yang linear akan

digunakan untuk melihat fase eksponensial yang akan diperlukan saat propagasi alga. Nilai regresi yang mendekati 1 menunjukkan hubungan linear dan yang sangat jauh dari 1 menunjukkan hubungan tidak linear. Hubungan antara *Optical Density* dan Klorofil a *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dapat dilihat pada gambar 4.4 dan 4.5.



**Gambar 4.4 Hubungan antara Optical Density dengan Klorofil a *Chlorella vulgaris***

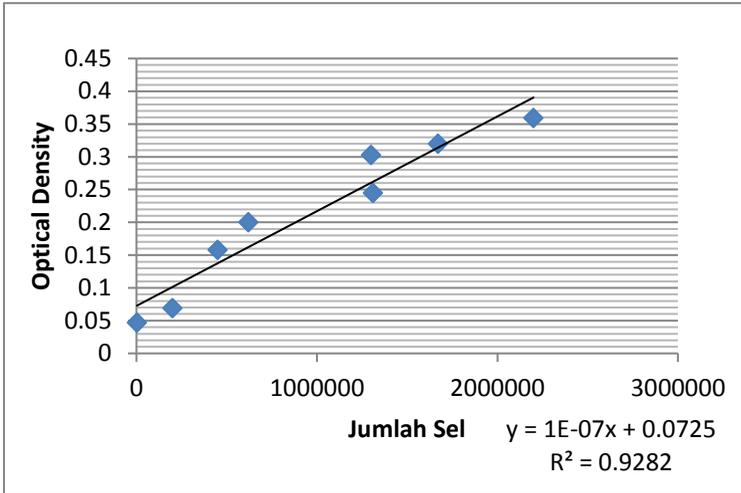


**Gambar 4.5 Hubungan antara Optical Density dengan Klorofil a *Spirulina platensis***

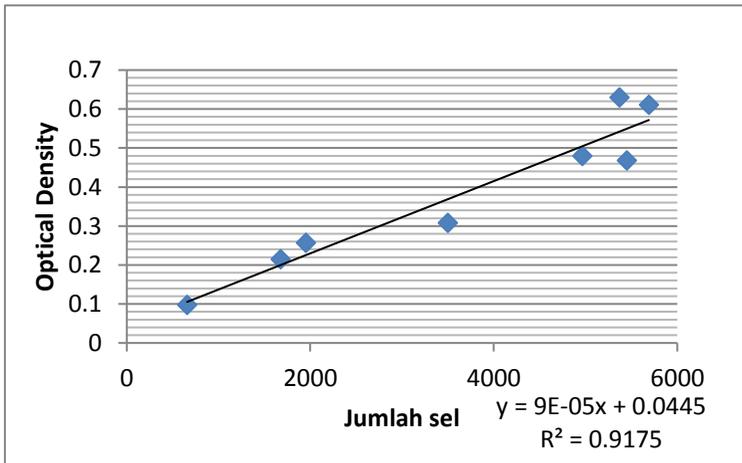
Hubungan yang ditunjukkan oleh gambar 4.4 dan 4.5 tidak linear. Dengan nilai regresi yang sangat jauh dari 1 menunjukkan bahwa hasil analisis klorofil yang sudah didapatkan masih belum dapat digunakan sebagai parameter banyaknya kadar alga dalam reaktor. Seharusnya klorofil dan optical density linear karena kepekatan yang terukur dalam optical density adalah hasil dari dominasi pigmen klorofil yang berwarna hijau pada selnya (Borowitzka, 1988).

Berdasarkan hasil studi literatur diketahui bahwa salah satu kelemahan pengukuran klorofil dengan metode spektrofotometri adalah karena klorofil dan hasil dekomposisinya masih sangat sulit dibedakan, keduanya menyerap cahaya pada spektrum merah. Menurut Riyono pada tahun 2006, apabila hasil-hasil dekomposisi klorofil atau disebut juga sebagai *phaeophytin group* (Yentsch dan Menzel, 1963), merupakan komponen yang besar maka dengan sendirinya hasil pengukuran klorofil akan lebih tinggi dari yang sebenarnya. Klorofil A dalam hal ini sangat mudah berubah menjadi *phaeophytin* dengan menambahkan asam lemah, misalnya dengan HCl 1 N, akibatnya sampel klorofil tersebut penyerapannya akan berkurang, sedangkan *phaeophytin* tidak mengalami pengurangan penyerapan. Berkurangnya penyerapan ini disebabkan lepasnya ikatan klorofil dengan atom Mg, sedangkan atom Mg bereaksi dengan HCl menjadi MgCl.

Regresi yang dilakukan antar optical density dan klorofil *Spirulina platensis* dan *Chlorella vulgaris* dan teori mengenai perkembangan zat klorofil di atas menunjukkan bahwa parameter klorofil a tidak cocok dianalisis untuk mengetahui fase eksponensial dari laju pertumbuhan mikroalga khususnya *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*. Regresi dua parameter dilanjutkan terhadap parameter pertambahan jumlah sel dan optical density untuk memastikan bahwa parameter jumlah sel dapat digunakan untuk mengetahui fase eksponensial dari laju pertumbuhan alga yang digunakan yaitu *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*. Grafik regresi dapat dilihat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.



**Gambar 4.6 Hubungan antara Jumlah Sel dan Optical Density *Chlorella vulgaris***



**Gambar 4.7 Hubungan antara Jumlah Sel dan Optical Density *Spirulina platensis***

Dari hubungan gambar 4.6 dan 4.7 di atas dapat dilihat bahwa grafik hubungan *Optical density* dan jumlah sel adalah linear dan regresi yang mendekati angka 1. Analisis jumlah sel dapat secara akurat menggambarkan laju pertumbuhan, karena dengan penghitungan *haemocytometer* dapat dibedakan sel yang hidup dan yang mati dari warna hijau sel dibawah mikroskop. *Optical Density* juga dapat digunakan untuk melihat kepekatan media yang dihubungkan dengan laju pertumbuhan alga karena dapat menggambarkan jumlah total kandungan sel alga namun tidak dapat menunjukkan fase eksponensial karena tidak membedakan jumlah sel hidup dan mati.

Sehingga dapat disimpulkan dalam penelitian ini parameter yang akan digunakan untuk mengetahui parameter kadar alga adalah jumlah sel. Melalui rangkaian analisis parameter uji pertumbuhan ini, maka fase eksponensial untuk *Chlorella vulgaris* adalah pada hari ke-4, dan *Spirulina platensis* pada hari ke-7 sesuai dengan hasil uji laju pertumbuhan berdasarkan analisis parameter jumlah sel.

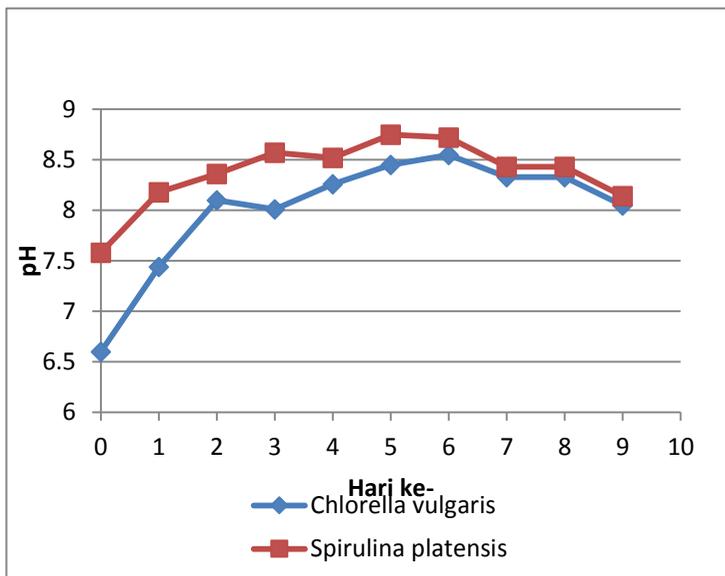
#### **4.2.4 Analisis pH**

Parameter pH pada analisis laju pertumbuhan ini merupakan faktor pengontrol alga dalam pertumbuhannya memanfaatkan unsur hara. Nilai pH yang terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas fotosintesis alga (De La Noue et al., 1988). pH yang sesuai untuk perkembangbiakan alga adalah antara 7-9. Hasil yang didapatkan dari pengukuran pH pada uji laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* setiap harinya selama 7 hari dapat dilihat pada gambar 4.9.

Penguraian protein atau persenyawaan nitrogen lainnya juga dapat meningkatkan pH. Ammonium, nitrat, nitrit merupakan bentuk senyawa nitrogen organik yang telah mengalami penguraian. Amonium dihasilkan melalui reaksi disosiasi amonium hidroksida yang merupakan amonia yang terlarut di dalam air seperti pada reaksi berikut :



Disosiasi Ammonium Hidroksida menghasilkan ion hidroksil yang bersifat basa. (Goldman dan Horne, 1983).

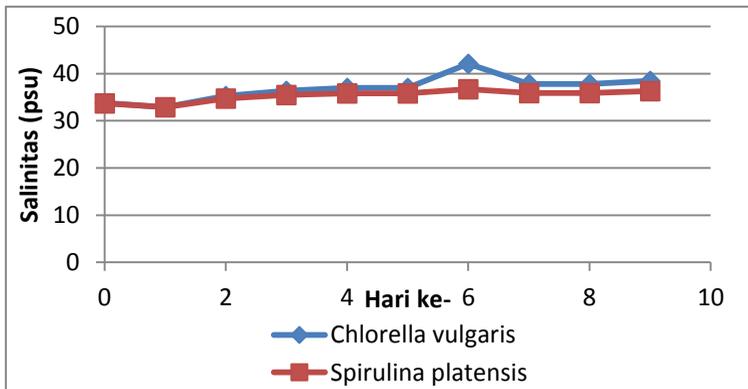


**Gambar 4.8 Nilai pH selama Uji Laju Pertumbuhan**

Pada saat media bersifat basa dapat juga terjadi pengikatan kandungan logam yang tersebar di media. Dari grafik yang didapatkan nilai pH alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* berkisar antara 7-8.7 selama masa uji laju pertumbuhan. Nilai pH ini memiliki tren yang meningkat dari hari pertama hingga hari terakhir. Hal ini disebabkan oleh adanya aktivitas fotosintesis, dimana alga memanfaatkan senyawa  $\text{CO}_2$  bebas dan terlarut sebagai sumber karbon anorganik utama yang digunakan. Selain itu alga juga dapat menggunakan ion karbonat dan bikarbonat sebagai sumber karbon yang digunakan untuk proses fotosintesis. Adanya penyerapan  $\text{CO}_2$  dan ion karbonat inilah yang menyebabkan pH media meningkat (Scherholz dan Curtiz, 2013).

#### 4.2.5 Salinitas

Salinitas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan alga. Alga dapat bertumbuh dengan optimal apabila tekanan osmosis sel tubuh alga sesuai dengan tekanan osmosis lingkungan media hidup alga. Tekanan osmosis media yang sesuai dengan tekanan osmosis sel alga mempermudah penyerapan nutrisi ke dalam sel alga. Parameter ini dianalisis setiap hari selama masa uji laju pertumbuhan dengan menggunakan Salinometer. Hasil yang didapatkan dapat dilihat dalam gambar 4.9.



Gambar 4.9 Nilai Salinitas selama Uji Laju Pertumbuhan

#### 4.3 Range Finding Test

Range finding test dilakukan untuk mengetahui kadar logam berat Cadmium (II) dalam  $\text{CdSO}_4$  maksimum yang tidak menghambat laju pertumbuhan alga atau mengkondisikan alga dengan pencemar  $\text{CdSO}_4$  supaya dapat melakukan bioremediasi secara optimal. *Range finding test* dilakukan dengan menambahkan logam berat dalam bentuk larutan ke dalam reaktor range finding test yaitu labu erlenmeyer berukuran 250 ml yang

diisi media dan inokulan dengan perbandingan 10 : 90 dengan total larutan Range Finding Test 200 ml.

Konsentrasi yang digunakan untuk range finding test ini ada 5 variasi yaitu 0 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l, 50 mg/l, 100 mg/l, dan 250 mg/l. Range finding test dilakukan selama 7 hari dengan shaker berkecepatan 110 rpm selama 24 jam. Pencahayaan 12 jam dan pemberian nutrisi juga dilakukan pada tahap ini agar pengondisian di semua tahap sama. Pengamatan yang dilakukan selama range finding test adalah pengamatan fisik dan penghitungan jumlah sel untuk mengetahui pengaruh logam berat pada pertumbuhan alga pada hari ke-0 sebagai kondisi awal, hari ke-4 sebagai fase eksponensial *Chlorella vulgaris*, dan hari ke-7 sebagai fase eksponensial *Spirulina platensis*.

Kadmium merupakan logam berat yang dapat terakumulasi dalam sel alga bersifat fitotoksik kuat, menghambat pertumbuhan bahkan kematian (Arunakumara dan Zhang, 2007). Pada penelitian Zulaika dan Kusumawati pada tahun 2015 uji resistensi yang dilakukan terhadap *Chlorella vulgaris* menunjukkan bahwa ketahanan *Chlorella vulgaris* adalah hingga 80 mg/l dengan presentase sel yang masih hidup adalah sebesar 50 % yang memungkinkan untuk digunakan sebagai agen bioremediasi.

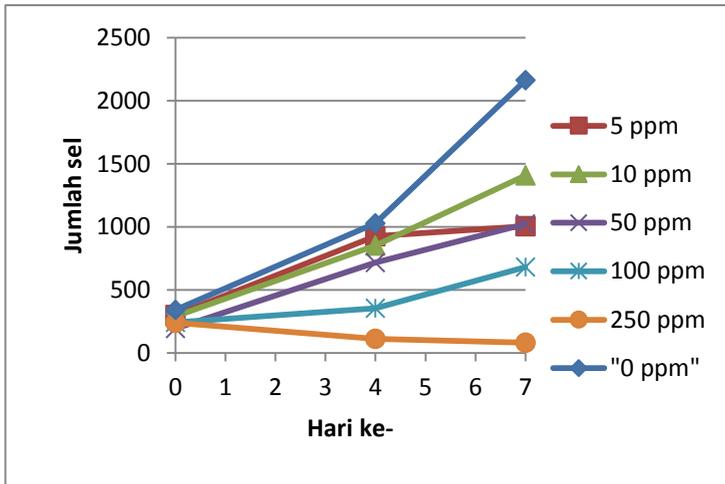
Hasil dari *range finding test* digunakan untuk menentukan kadar logam berat yang akan digunakan pada media hidup alga pada proses biosorpsi. Hasil yang dipilih adalah hasil yang paling rendah dari kedua alga. Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.10. Melalui pengamatan fisik terlihat bahwa warna yang masih hijau hingga hari ke-7 untuk alga *Chlorella vulgaris* adalah pada konsentrasi 10 mg/l. Analisis jumlah sel dilakukan untuk data yang lebih akurat.

**Tabel 4.2 Pengamatan Fisik *Range Finding Test* *Chlorella vulgaris***

Hari ke-	Konsentrasi Cd(II) (mg/l)					
	0	5	10	50	100	250
0						
7						

Tabel pengamatan fisik di atas menunjukkan bahwa pada hari ke-0 warna media dan *Chlorella vulgaris* semakin memudar secara berurutan dari konsentrasi Cd(II) rendah hingga ke tinggi. Pada hari ke-7 reaktor *range finding test* yang masih menunjukkan warna hijau adalah reaktor dengan konsentrasi Cd(II) 0-100 mg/L.

Yang menandakan bahwa alga *Chlorella vulgaris* hanya mengalami pertumbuhan yang tidak terhambat hingga konsentrasi Cd(II) 100 mg/l. Penghitungan jumlah sel dilakukan setelah dilakukan pengamatan fisik untuk memastikan keakuratan data. Data analisis jumlah sel *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada gambar 4.10.



**Gambar 4.10 Jumlah sel *Chlorella vulgaris* dalam Range Finding Test**

Hasil *Range Finding Test* tersebut menunjukkan bahwa jumlah sel yang tidak menurun atau terhambat adalah pada konsentrasi 100 mg/l. Pada tingkat konsentrasi di atas 100 mg/l yaitu 250 mg/l pertumbuhan *Chlorella vulgaris* sudah menurun. Sehingga dapat ditetapkan dalam penelitian ini konsentrasi Cd(II) yang toleran terhadap *Chlorella vulgaris* adalah 100 mg/l.

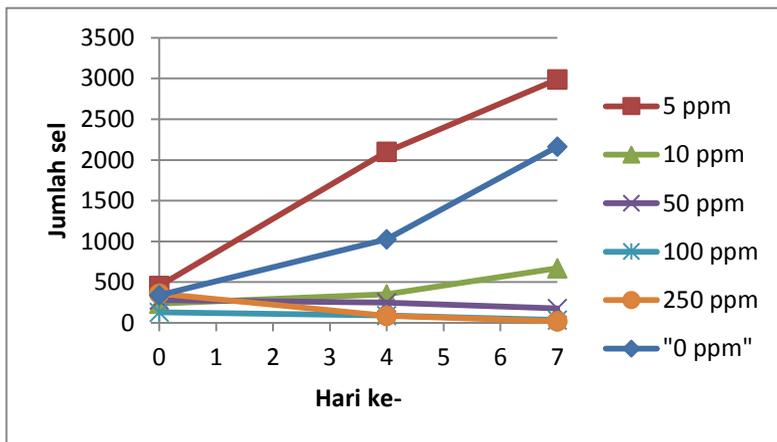
Perlakuan yang sama diterapkan pada *Spirulina platenis* dalam tahapan *range finding test*. Hasil dari pengamatan fisik dan jumlah sel dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 4.11.

**Tabel 4.3 Pengamatan Fisik *Spirulina platensis* pada Range Finding Test**

Hari ke-	Konsentrasi Cd(II) (mg/l)					
	0	5	10	50	100	250
0						
Hari ke-	Konsentrasi Cd(II) (mg/l)					
	0	5	10	50	100	250
7						

Tabel pengamatan fisik di atas menunjukkan bahwa pada hari ke-0 warna media dan *Spirulina platensis* semakin memudar secara berurutan dari konsentrasi Cd(II) rendah hingga ke tinggi. Pada hari ke-7 reaktor *range finding test* yang masih menunjukkan warna hijau adalah reaktor dengan konsentrasi Cd(II) 0-10 mg/L. Yang menandakan bahwa alga *Spirulina platensis* hanya mengalami pertumbuhan yang tidak terhambat hingga konsentrasi Cd(II) 10 mg/l. Penghitungan jumlah sel dilakukan setelah dilakukan pengamatan fisik untuk memastikan keakuratan data.

Data analisis jumlah sel *Spirulina platensis* dapat dilihat pada gambar 4.11.



**Gambar 4.11 Jumlah sel *Spirulina platensis* dalam Range Finding Test**

Hasil *range finding test* menunjukkan konsentrasi yang dapat digunakan yang tidak menghambat pertumbuhan *Spirulina platensis* adalah 10 mg/l. Hasil konsentrasi yang dipilih ini adalah konsentrasi maksimum yang tidak menghambat pertumbuhan alga. Dalam *range finding test* *Chlorella vulgaris* memiliki ketahanan hingga 100 mg/l, namun *Spirulina platensis* hanya dapat bertahan hingga 10 mg/l. Penelitian ini menggunakan konsorsium sehingga dipilih konsentrasi yang paling kecil dari ketahanan kedua alga yang digunakan. Maka konsentrasi Cd(II) yang akan digunakan dalam tahapan selanjutnya tahap remediasi logam berat adalah 10 mg/l.

Penetapan konsentrasi yang digunakan melalui tahap *range finding test* ini akan dibuatkan larutan stock logam berat Cd(II) sebanyak media remediasi yang dibutuhkan dengan perbandingan 90:10

#### 4.4. Kemampuan Alga dalam Removal Cd(II)

Pelaksanaan penelitian remediasi untuk meremoval Cadmium oleh konsorsium alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan selama 7 hari dan dilakukan pengulangan sebanyak 1 kali (duplo). Waktu penelitian yang dilakukan merupakan kriteria kontak penggunaan sistem *High Rate Algal Reactor* yaitu 2-6 hari (Mara, 2003). Pada penelitian ini dilakukan selama 7 hari adalah sebagai tambahan waktu untuk proses aklimatisasi kedua alga. Parameter yang dianalisis adalah jumlah sel, *optical density*, suhu, pH, jumlah sel, salinitas, dan pengujian total logam berat Kadmium. Semua parameter selain pengujian total logam berat dianalisis setiap harinya. Pengujian total logam berat hanya dilakukan pada hari ke-0 dan ke-7. Penelitian ini menggunakan 12 reaktor, 9 reaktor utama, dan 3 reaktor kontrol. Sistem HRAR diterapkan dengan cara memberikan pengadukan, pencahayaan, dan penambahan nutrisi.

Alga yang digunakan pada penelitian ini adalah *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* generasi kedua dari propagasi yang sudah diaktivasi pada setengah fase eksponensial. Perbandingan alga dengan media pencemar adalah 10:90 yang dicampurkan dalam reaktor plastik dengan total volume 8 liter. Konsentrasi pencemar  $\text{CdSO}_4$  yang digunakan adalah 10 mg/l yang didapatkan dari Range finding test. Cara pembuatan larutan pencemar terdapat pada lampiran. Pencahayaan yang digunakan adalah lampu LED 6000-7000 lux selama 12 jam. Sisa waktu 12 jam tanpa pencahayaan mendapatkan cahaya alami dari luar reaktor 120-150 lux. Pengadukan juga diberikan selama 24 jam dengan pengaduk besi dengan kecepatan 60-80 rpm.

Menurut Safi, *et.al.* (2014), dinding sel *Chlorella vulgaris* mengandung hemiselulosa, yang menyumbang stabilitas dan kekakuan sel. Hal ini menyebabkan sel memiliki siklus reproduksi aseksual. Proses reproduksi berlangsung dengan cara sel akan memproduksi autospora dari sel besar yang telah matang dan

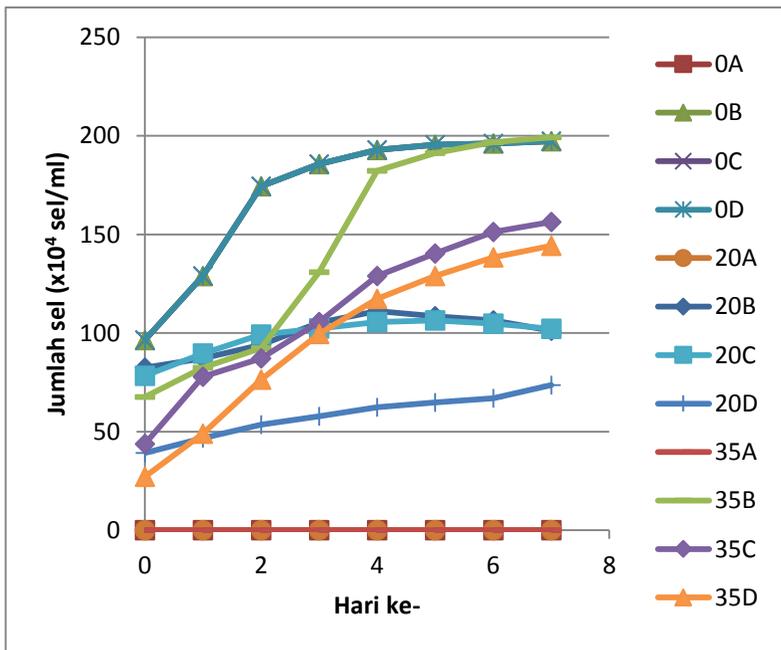
akan membagi sel menjadi unit yang lebih kecil. Reproduksi aseksual terjadi apabila satu sel dewasa telah terbagi menjadi empat sel baru. Proses tersebut berlangsung setiap 16-20 jam.

Menurut Purnamawati, *et.al* (2015), fitoplankton dapat digunakan sebagai agen kelat bagi logam berat yang terlarut dalam badan air. Dalam tubuh fitoplankton, terdapat beberapa senyawa organik, termasuk klorofil, yang diketahui mampu mengikat logam berat dengan membentuk senyawa kompleks melalui gugus-gugus yang reaktif terhadap logam berat tersebut seperti sulfidril dan amina. Melalui ikatan kompleks tersebut, logam berat akan menjadi lebih stabil dan terakumulasi di dalam sel fitoplankton. Adapaun kandungan senyawa organik yang mampu berperan sebagai ligand adalah tidak sama pada setiap jenis fitoplankton. Hal ini bergantung pada kondisi fisiologis masing-masing sel fitoplankton. Dalam hal inilah *Chlorllea vulgaris* dan *Spirulina platensis* berbeda. Menurut Esmaeili (2015), alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dapat mensintesis protein pengkelat logam melalui proses aktif. Glutathione (GSH) dikenal efisien dalam melakukan detoksifikasi sel. GSH melindungi sel dengan mengurangi spesies oksigen reaktif (ROS) dan juga dengan mengikat logam. GSH sendiri merupakan gugus tripeptide yang hasil sintesis asam glutamat (Glu), sistein (Cys) dan glisin (Gly). GSH juga merupakan senyawa tiol utama yang diproduksi oleh binatang, tumbuhan, alga dan bakteri (Giovanelli et al., 1980, Noctor dan Foyer, 1998 dalam Esmaeili, 2015).

Sintesis Y-glutamilsistein berasal dari L-glutamat dan L-sistein yang dikatalisis oleh enzim Yglutamylcysteine sintetase. Kemudian, penambahan glisin akan dikatalisis oleh enzim glutathione synthetase untuk menghasilkan GSH. Biasanya sintesis terjadi di sitosol, kloroplas, vakuola dan mitokondria yang mana merupakan tempat asam amino diproduksi (Noctor dan Foyer 1998). Berdasarkan teori di atas remediasi logam berat Kadmium memungkinkan untuk didapatkan removal. Hasil analisis yang dilakukan akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

#### 4.4.1. Hasil Analisis Pertambahan Jumlah Sel Alga

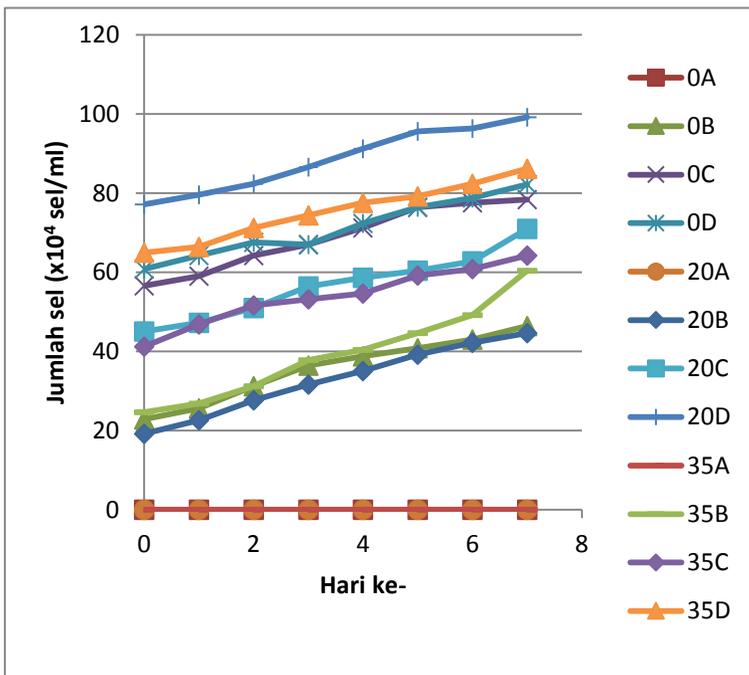
Pertambahan jumlah sel alga yang hidup pada proses penyisihan logam berat kromium dianalisis setiap hari menggunakan hemositometer *Neubauer Improved* dengan metode yang sama pada saat uji laju pertumbuhan. Reaktor yang diuji pertumbuhan selnya adalah keseluruhan reaktor utama. Berikut adalah hasil dari pertumbuhan sel yang didapatkan selama 7 hari.



**Gambar 4.12** Pertambahan Jumlah Sel *Chlorella vulgaris* dalam Proses Biosorpsi

Berdasarkan grafik pertumbuhan *Chlorella vulgaris* semua alga dalam reaktor yang diinokulasikan *Chlorella vulgaris* mengalami pertumbuhan. Peningkatan rata-rata jumlah sel

*Chlorella vulgaris* dalam media mengandung logam berat Cd(II) sebesar 10 mg/l dengan sistem HRAR adalah 160-200 %. Reaktor yang memiliki jumlah sel *Chlorella vulgaris* terbanyak di dalamnya adalah reaktor 0B yaitu reaktor dengan komposisi *Chlorella vulgaris* : *Spirulina platensis* yaitu 75% : 25% pada tingkat salinitas media 0 psu. Efek pertumbuhan yang dihasilkan oleh variasi salinitas ini hasilnya tidak terlalu signifikan. Menurut George pada tahun 1991 bahwa *Chlorella vulgaris* yang habitatnya adalah air tawar, air payau, atau air laut dapat bertumbuh dengan setara dalam ketiga media tersebut. Kisaran tingkat salinitas media yang dapat ditoleransi oleh *Chlorella vulgaris* adalah 0-35 psu. Penghitungan jumlah sel dilakukan juga terhadap *Spirulina platensis* bersamaan dengan *Chlorella vulgaris*.



**Gambar 4.13** Pertambahan Jumlah Sel *Spirulina*

Gambar di atas menunjukkan bahwa semua reaktor yang diinokulasikan *Spirulina platensis* mengalami pertumbuhan. Peningkatan jumlah rata-rata *Spirulina platensis* dalam media mengandung Cd(II) 10 mg/l adalah 122% tanpa ada efek signifikan yang dihasilkan oleh variasi salinitas. Tingkat ketahanan *Spirulina platensis* terhadap salinitas adalah pada 0-85 psu. Variasi salinitas 0 psu, 20 psu, 35 psu., belum menunjukkan tingkat salinitas yang paling optimum, namun pertumbuhan yang dihasilkan dengan kondisi HRAR dan variasi salinitas tersebut cukup besar. Perbandingan alga yang dimasukkan ke dalam reaktor adalah perbandingan volume dengan biakan yang memiliki kepadatan awal yaitu 10.000 sel/ml untuk alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*. Perbandingan jumlah sel setelah dimasukkan ke dalam reaktor dengan komposisi yang sudah ditentukan terlebih dahulu dapat dilihat pada tabel berikut

**Tabel 4.4 Jumlah Sel Berdasarkan Komposisi dalam Reaktor**

Reaktor	<i>Chlorella vulgaris</i> (x10 <sup>4</sup> sel/ml)		<i>Spirulina platensis</i> (x10 <sup>4</sup> sel/ml)	
	Hari-0	Hari-7	Hari-0	Hari-7
0A	0	0	0	0
0B	382	986	114	232
0C	268	842	283	392
0D	186	478	304	411
20A	0	0	0	0
20B	312	506	96	223
20C	292	511	225	355
20D	143	368	386	496
35A	0	0	0	0
35B	338	996	123	302

Reaktor	<i>Chlorella vulgaris</i> (x10 <sup>4</sup> sel/ml)		<i>Spirulina platensis</i> (x10 <sup>4</sup> sel/ml)	
	Hari-0	Hari-7	Hari-0	Hari-7
35C	219	782	206	321
35D	136	721	325	431

Data jumlah sel atau kepadatan sel per ml ini dapat dikonversi ke dalam besaran biomassa sel dalam satuan (gr/L), untuk dapat melihat seberapa banyak massa alga yang dibutuhkan dalam proses remediasi sebagai satuan yang lebih umum. Rumus konversi hubungan jumlah sel dengan biomassa yang didapatkan dari kurva kalibrasi pada penelitian Mahdi pada tahun 2012 adalah sebagai berikut

**Tabel 4.5 Rumus Konversi Biomassa dari Jumlah Sel**

Jenis Alga	Hubungan Biomassa dengan Jumlah Sel
<i>Spirulina platensis</i>	Biomassa (gr/L) = ( 9,72.10 <sup>-5</sup> ) x (Jumlah sel/ml)
<i>Chlorella vulgaris</i>	Biomassa (gr/L) = ( 1,16.10 <sup>-5</sup> ) x (Jumlah sel/ml)

(Sumber : Mahdi, 2012)

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa biomassa yang dihasilkan oleh *Spirulina platensis* lebih besar dari *Chlorella vulgaris*. Hal ini disebabkan oleh ukuran *Spirulina platensis* lebih besar dari *Chlorella vulgaris* sehingga untuk mencapai kerapatan yang sama jumlah sel dari *Spirulina platensis* tidak sebanyak *Chlorella vulgaris*.

Dari rumus konversi di atas dapat diketahui perkiraan biomassa alga yang digunakan dalam proses removal logam berat Cd(II). Hasil analisis kadar alga dalam satuan berat dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.6 Kadar Alga dalam Satuan Biomassa**

Reaktor	<i>Chlorella vulgaris</i> (gr/L)	<i>Spirulina platensis</i> (gr/L)
0A	0	0
0B	114.376	225.504
0C	112.288	381.024
0D	55.448	399.492
20A	0	0
20B	58.696	216.756
20C	59.276	345.06
20D	42.688	482.112
35A	0	0
35B	115.536	293.544
35C	90.712	312.012
35D	83.636	418.932

#### 4.4.2 Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Berat Cadmium

Tahapan analisis selanjutnya adalah analisis total Cd(II) dalam proses bioremediasi oleh konsorsium *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* terhadap logam berat dengan konsentrasi 10 mg/l yang ditentukan berdasarkan *range finding test*. Parameter total logam Kadmium diukur pada awal dan akhir proses bioremediasi untuk mengetahui presentase penyisihan Cd(II) oleh konsorsium alga. Metode pengujian total logam berat Kadmium yang digunakan adalah metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Hasil dari pengukuran total Cd(II) dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut

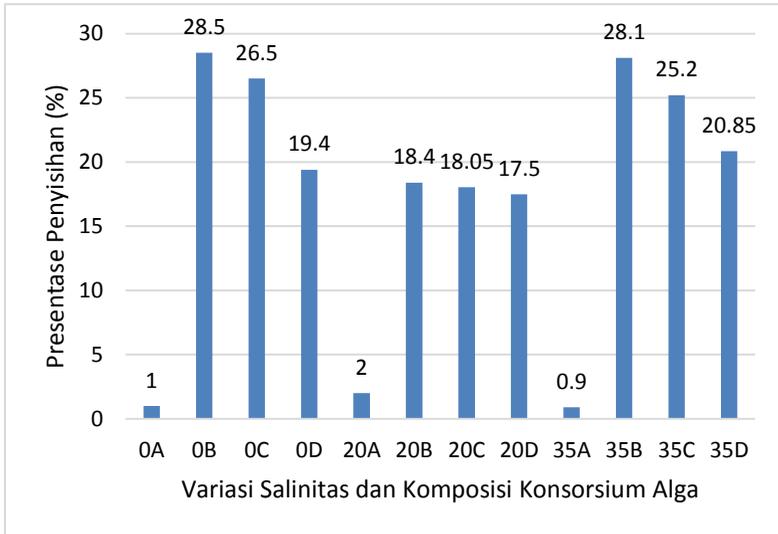
**Tabel 4.7 Efisiensi Penyisihan Logam Berat Cd(II)**

Reaktor	Konsent rasi Cd (II) Awal (mg/l)	Konsentra si Cd(II) Akhir (mg/l)	Presentase removal (%)	Total Kadmium/S el alga (mg/10 <sup>6</sup> sel)
0A (kontrol)	10,8	10,7	1	-
0B (75:25)	10,9	7,79	28,5	0,48 mg/sel
0C (50:50)	11,05	8,36	26,9	0,33 mg/sel
0D (25:75)	11,1	9,16	19,4	0,43 mg/sel
20A (kontrol)	10,5	10,3	2	-
20B (75:25)	10,47	8,63	18,4	0,40 mg/sel
20C (50:50)	10,08	8,26	18,05	0,38 mg/sel
20D (25:75)	11,4	9,4	17,5	0,30 mg/sel
35A (kontrol)	10,15	10,06	0,9	-
35B (75:25)	10,9	8,09	28,1	0,42 mg/sel
35C (50:50)	10,9	8,38	25,2	0,37 mg/sel
35D (25:75)	11,7	9,26	20,85	0,35 mg/sel

Reaktor	Logam Kadmium (II) Terremoval (mg)	Total Removal/Berat Alga (mg/gr)
0A	0.1	-
0B	3.11	0.46
0C	2.69	0.34
0D	1.94	0.25
20A	0.2	-
20B	1.84	0.31
20C	1.82	0.30
20D	2	0.33
35A	0.09	-
35B	2.81	0.29
35C	2.52	0.27
35D	2.44	0.24

Dari hasil analisis di atas dapat dilihat bahwa hasil presentase removal tertinggi adalah pada reaktor 0B yaitu pada komposisi konsorsium (*Chlorella vulgaris* : *Spirulina platensis*) 75:25 dan tingkat salinitas 0 psu sebesar 28.5 %. Presentase removal terendah adalah pada reaktor 20D sebesar 17.5 % yaitu pada komposisi konsorsium (*Chlorella vulgaris* : *Spirulina platensis*) 25 : 75 dan tingkat salinitas sebesar 20 psu. Proses bioremediasi ini dilakukan selama 7 hari.

Rata-rata penyisihan yang dilakukan oleh alga adalah sebesar 0,30 mg/gr dengan pengondisian yang sudah dilakukan dan skala laboratorium. Presentase penyisihan dapat lebih jelas dibandingkan dalam gambar 4.14.



**Gambar 4.14 Penyisihan Kadmium berdasarkan Variasi Komposisi dan Salinitas**

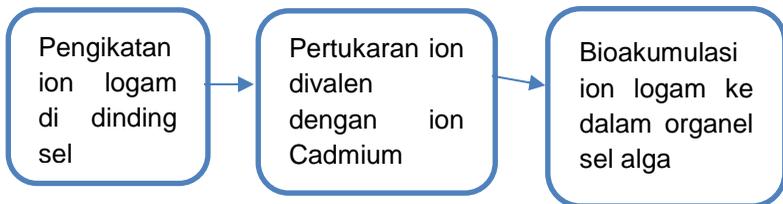
Pada reaktor kontrol OA, 20A, 35A tanpa alga terjadi juga penurunan konsentrasi logam berat dalam jumlah kecil. Hal ini disebabkan oleh adanya reduksi spontan atau terjadinya adhesi pada permukaan reaktor yang digunakan, yang didukung oleh adanya pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan (Abdulla et al., 2010).

Dalam penelitian ini pada setiap variasi salinitas, reaktor yang memiliki presentase removal yang paling baik adalah pada komposisi 75% *Chlorella vulgaris* dan 25% *Spirulina platensis*, sedangkan yang paling rendah adalah pada komposisi 25% *Chlorella vulgaris* dan 75% *Spirulina platensis*. Hal ini mungkin terjadi karena jumlah sel *Chlorella vulgaris* yang bertumbuh juga lebih banyak dalam pengondisian reaktor yang telah dilakukan. Perbedaan presentase tidak signifikan, namun secara konsisten

komposisi *Chlorella vulgaris* yang lebih banyak memiliki removal yang lebih besar juga.

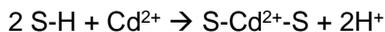
Parameter total logam berat Cd (II) dapat dihubungkan dengan parameter jumlah sel. Kepadatan sel *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* berpengaruh terhadap meningkatnya daya pengikatan logam berat di lingkungan, meskipun tidak sebanding dengan peningkatan kepadatan sel. (Aarti et al., 2008). Sel *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* telah melakukan biosorpsi yang ditandai dengan adanya pengurangan konsentrasi ion logam Cd. Dinding sel *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dapat mengikat ion Cd.

Faktor kunci remediasi adalah bahwa logamnya bersifat *non-biodegradable* tetapi dapat melakukan transformasi melalui proses sorpsi, metilasi, kompleksasi, dan mengubah nilai valensinya. Mekanisme dari biosorpsi logam berat oleh alga dapat dilihat dalam gambar berikut.



**Gambar 4.15 Bagan Alir Mekanisme Biosorpsi Logam Berat Cadmium oleh Alga**

Menurut Esmaeili (2015), *Chlorella vulgaris* dapat mensintesis protein pengkelat logam melalui proses aktif menggunakan Glutathione. Glutathione ini ada dalam seluruh sel. Jika terjadi pencemaran logam berat misalnya *glutathione* akan membentuk fitokelatin-Cd selanjutnya diteruskan ke vakuola (Haryoto dan Agustono, 2004). Penyerapan logam Cd berkaitan dengan pH medium :



S-H = permukaan absorben / gugus thiol pada fitokelatin

Saat ion logam berat tersebar di sekitar sel alga, ion logam akan terikat pada elemen yang terdapat pada dinding sel berdasarkan kemampuan daya affinitas kimia yang dimiliki oleh sel tersebut (Droste, 2007). Dalam daya affinitas terhadap logam berat Cd(II) inilah *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* memiliki perbedaan.

Sebelum ion logam sampai ke membran dan sitoplasma sel masing-masing alga ion logam tersebut harus melalui dinding sel yang mengandung berbagai macam polisakarida dan protein yang memiliki sejumlah sisi aktif yang mampu berikatan dengan ion logam. Terjadi pertukaran ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg, Ca yang terdapat pada dinding sel digantikan oleh ion logam berat Cd kemudian terbentuk formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan kelompok fungsional seperti karbonik, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil.

Proses biosorpsi ini berlangsung cepat pada sel alga. Proses ini berlangsung efektif dengan kehadiran pH tertentu dan kehadiran ion-ion lainnya dimana logam berat dapat menjadi garam tak larut yang diendapkan (Glick dan Pasternak, 2001). Maka dinding sel sering disebut sebagai bagian terpenting dari mekanisme pertahanan sel karena dinding sel merupakan penghalang utama terhadap akumulasi logam berat yang berat yang bersifat toksik (Purnamawati et al., 2013). Pada penelitian ini ion Cd yang bervalensi 2 akan menggantikan ion divalen yang terdapat pada dinding sel *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* sehingga ion logam pada media tentu akan berkurang.

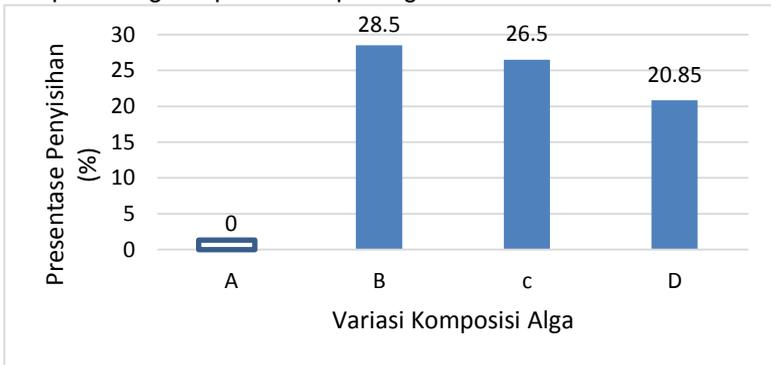
Setelah terjadi proses biosorpsi (*passive uptake*), mekanisme berikutnya adalah *active uptake* dimana sel *Chlorella vulgaris* memindahkan ion logam yang telah terikat ke dinding sel ke organel sel yang lebih dalam (bioakumulasi). Mekanisme ini terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan sel dan akumulasi ion logam tersebut.

Pengaruh dari perbandingan komposisi alga menyebabkan perbedaan presentase removal logam berat

Kadmium walaupun hasilnya tidak signifikan. Kemampuan rata-rata presentase penyisihan oleh kedua alga adalah sebesar 0,0040 mg Cd/1<sup>-</sup>0<sup>4</sup> sel.

#### 4.4.3 Pengaruh Variasi Komposisi Konsorsium Alga terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Berat Cd(II)

Variasi komposisi alga yang sudah dibuat menghasilkan perbedaan efisiensi penyisihan kadar logam berat Cd(II). Hasil efisiensi penyisihan kadar logam berat Cd(II) berdasarkan komposisi alga dapat dilihat pada gambar 4.16

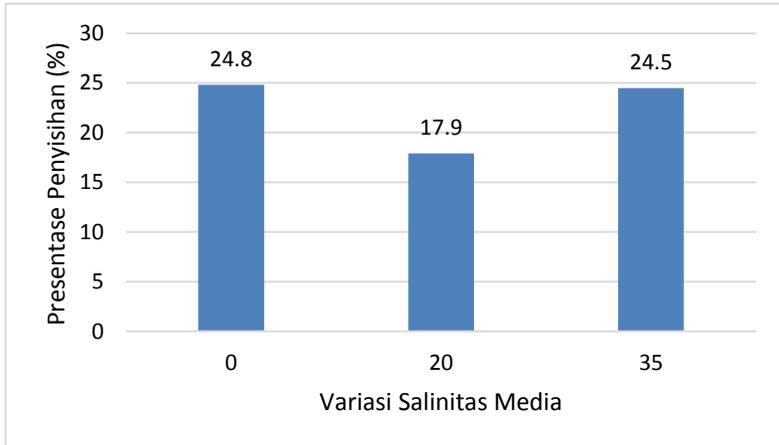


**Gambar 4.16 Penyisihan Logam Kadmium berdasarkan Variasi Komposisi Alga**

Perbedaan efisiensi yang dihasilkan tidak signifikan. Komposisi yang paling baik dalam penyisihan logam berat Cd(II) adalah pada komposisi B dengan perbandingan *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* yaitu 75:25. Dominasi *Chlorella vulgaris* dalam proses biosorpsi logam berat Cd(II) ini lebih besar. Hal ini disebabkan oleh perbedaan daya afinitas terhadap logam berat Cd(II) yang dimiliki oleh *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*. Daya afinitas adalah daya pengikatan ion logam berat pada dinding sel alga sebelum dilanjutkan pada proses biosorpsi ke dalam organel sel yang lebih dalam (biosorpsi) (Droste, 2007).

#### 4.4.4 Pengaruh Variasi Salinitas Media terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar Logam Berat Cd(II)

Variasi salinitas media yang sudah dibuat menghasilkan perbedaan efisiensi penyisihan kadar logam berat Cd(II). Pengaruh salinitas media ini mempengaruhi pertumbuhan alga yang berpedan dalam pertambahan jumlah sel.



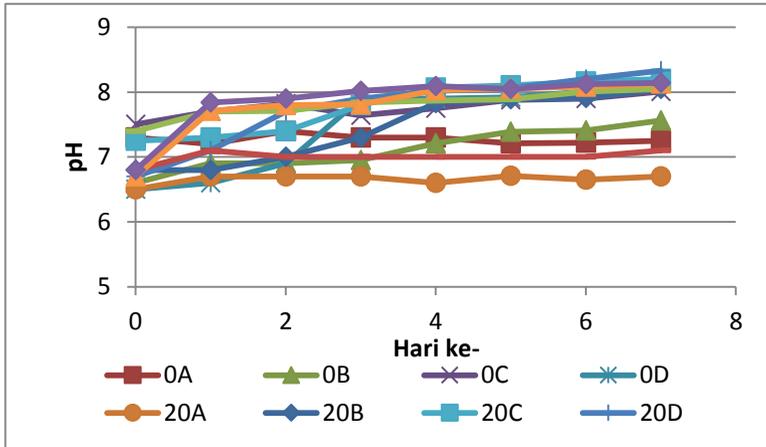
**Gambar 4.17 Penyisihan Logam Kadmium berdasarkan Variasi Salinitas Media**

Salinitas media yang menghasilkan tekanan osmosis yang sesuai antara media dan alga akan menyebabkan alga lebih gampang menyerap nutrisi secara difusi ke dalam sel alga. Hasil efisiensi penyisihan kadar logam berat Cd(II) berdasarkan variasi salinitas media dapat dilihat pada gambar berikut.

Perbedaan presentase penyisihan yang dihasilkan tidak signifikan. Tingkat salinitas yang paling baik adalah salinitas 0 psu, dan 35 psu. Alga dapat hidup dengan baik pada rentang salinitas 0-35 psu. Pengaruh salinitas yang diberikan masih belum signifikan karena pada rentang yang divariasikan efek pertumbuhan yang diberikan masih setara terhadap alga, (Latala, 1997)

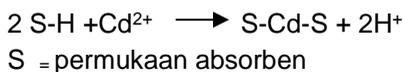
#### 4.4.5. Perubahan pH

Selama pengamatan 7 hari dilakukan analisis pH setiap harinya dengan menggunakan pH meter. Berikut adalah hasil dari yang didapatkan:



**Gambar 4.18** pH setiap reaktor dalam remediasi Cd(II) 10 mg/l

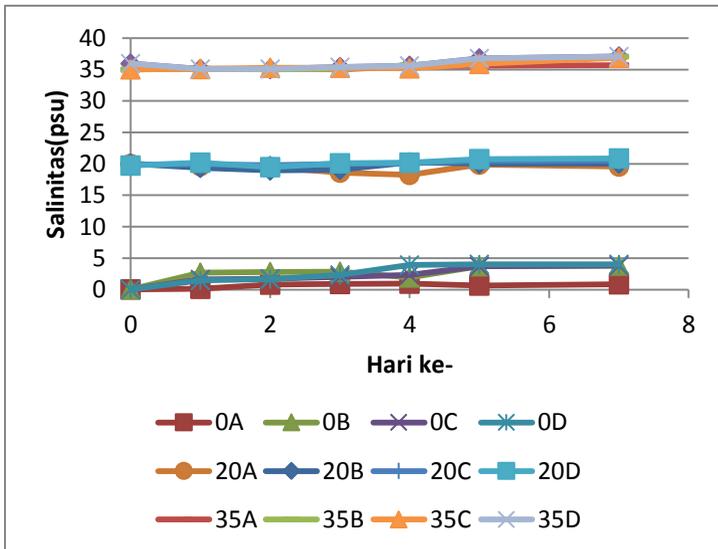
Dari data yang didapatkan dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan pH setiap harinya di reaktor uji. pH reaktor yang mengandung alga masih berada dalam rentang 6,6-8,3 dimana rentang pH yang aman untuk kehidupan alga adalah 6,8-8,7 (Wong,2007). pH reaktor kontrol berada pada rentang 6,8-7,3. Kenaikan pH disebabkan oleh adanya aktivitas fotosintesis alga. Alga memanfaatkan senyawa CO<sub>2</sub> bebas dan terlarut sebagai sumber karbon anorganik utama yang digunakan menyebabkan pH naik akibat konsentrasi CO<sub>2</sub> terlarut menurun (Prihantini et al., 2005). Purnamawati pada tahun 2001 menyatakan bahwa penyerapan logam Cd berkaitan dengan pH media. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Pada pH basa ion logam akan bereaksi dengan ion hidroksida membentuk ikatan logam hidroksida (Dasta & Tabati, 1992)

#### 4.4.6. Perubahan Salinitas

Selama pengamatan 7 hari dilakukan analisis salinitas setiap harinya dengan menggunakan TDS meter yang memiliki fitur Salinometer. Salinitas berpengaruh dalam tekanan osmosis media lingkungan hidup alga. Alga dapat bertumbuh dengan baik apabila tekanan osmosis sel dalam alga sesuai dengan tekanan osmosis lingkungan perairan tempat hidupnya. Alga memiliki tempat hidupnya masing-masing dengan tingkat salinitas optimum yang berbeda-beda (Latala,1997). *Chlorella vulgaris* dapat bertumbuh optimum dalam rentang salinitas 0-35 psu atau 0-35 gr/L. *Spirulina platensis* dapat bertumbuh dalam rentang salinitas 0-85 psu atau 0-85 gr/L..

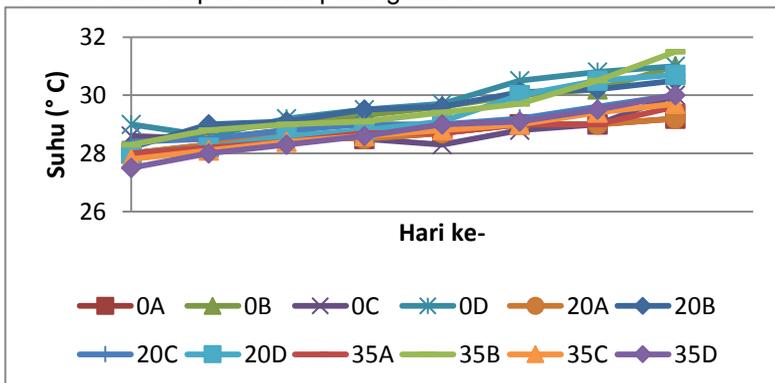


Gambar 4.19 Perubahan pH Setiap Reaktor

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa salinitas setiap reaktor meningkat. Reaktor pada tingkat salinitas 0 psu yang mengandung alga mengalami peningkatan dari 0 psu hingga 4 psu. Reaktor pada tingkat salinitas 20 psu yang mengandung alga mengalami peningkatan dari 20 psu hingga 20,51 psu. Reaktor pada tingkat salinitas 35 psu yang mengandung alga mengalami peningkatan dari 35 psu hingga 37,1 psu. Peningkatan ini disebabkan karena adanya sisa metabolit dari alga, dan penguapan cairan media mengakibatkan semakin pekatnya kadar garam dalam media (Karsten dan Kirst, 1989).

#### 4.4.7. Perubahan Suhu

Suhu juga merupakan faktor penting dalam pertumbuhan alga dalam proses penyisihan logam berat. Pada suhu optimum alga akan menyisihkan logam berat lebih optimal karena proses metabolisme alga akan dapat bekerja lebih baik (Leroi et al., 2001). Suhu antara 20-29 ° C merupakan suhu yang optimal untuk alga dan suhu yang lebih rendah akan menghasilkan penurunan metabolisme dan pertumbuhan (Bitton, 2005). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran suhu selama 7 hari setiap harinya. Hasil analisis suhu dapat dilihat pada gambar



**Gambar 4.20 Suhu setiap Reaktor dalam Remediasi**

Suhu yang terukur pada reaktor kontrol tanpa mikroorganismenya adalah 28 - 29.6°C, sedangkan pada reaktor dengan alga adalah 27.5 - 31°C. Rentang suhu yang terukur masih dalam rentang suhu dimana alga dapat hidup dan melakukan metabolisme, walaupun berada sedikit di atas suhu optimum pada hari ke-6 dan ke-7 proses bioremediasi. Kenaikan suhu ini disebabkan oleh perpindahan panas dari lampu yang digunakan selama 12 jam pencahayaan untuk setiap reaktor.

#### 4.5 Uji Statistik

Uji statistik dilakukan dengan metode ANOVA (*Analysis of Variance*) yang merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui perbedaan rata-rata dari dua sampel. Uji ini dilakukan untuk melihat variabel yang lebih berpengaruh terhadap hasil penurunan konsentrasi Cd(II) pada media tumbuh alga. Uji ANOVA dilakukan dengan Microsoft Excel dengan metode analisis *Two Way Anova Without Replication*. Hasil uji ANOVA terhadap 2 variabel yaitu perbandingan komposisi *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dan perbedaan salinitas media ditunjukkan pada gambar berikut.

Anova: Two-Factor With Replication						
SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance		
28.5	2	46.5	23.25	47.045		
26.5	2	43.25	21.625	25.56125		
19.4	2	38.35	19.175	5.61125		
2	3	53.95	17.98333	0.205833		
0.9	3	74.15	24.71667	13.31583		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	16.8325	2	8.41625	1.648494	0.377573	19
Columns	68.00667	1	68.00667	13.32049	0.067554	18.51282
Error	10.21083	2	5.105417			
Total	95.05	5				

Gambar 4.21 Analisis Statistik

Hasil menunjukkan bahwa untuk variabel Salinitas yang terdapat dalam *Row* memiliki P Value  $0,377 > 0,05$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan penurunan konsentrasi Cadmium yang dihasilkan oleh variasi salinitas. Untuk variabel perbandingan komposisi *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* yang terdapat dalam *Collumn* memiliki P Value  $0,06 > 0,05$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan penurunan konsentrasi Cadmium yang dihasilkan oleh variasi perbandingan komposisi kedua alga. Nilai MS Error atau residual kecil dibandingkan MS *Row* atau MS *Column* sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh komposisi perbandingan alga tidak berinteraksi dengan efek dari salinitas media.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Komposisi yang paling baik dalam meremoval logam berat Cd (II) adalah pada komposisi konsorsium *Chlorella vulgaris* : *Spirulina platensis* yaitu 75:25 pada salinitas 0 psu sebesar 28.5 %
2. Tingkat Salinitas pada rentang 0-35 psu untuk pertumbuhan alga dan proses biosorpsi belum menghasilkan perbedaan pertumbuhan jumlah sel, dilihat dari presentase kenaikan jumlah sel dalam variasi salinitas tidak memiliki perbedaan signifikan di setiap tingkat salinitas.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat kami sampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya, variasi salinitas yang digunakan dapat diganti dengan variasi jumlah nutrisi atau variasi jenis nutrisi karena pada rentang salinitas dimana alga dapat hidup tidak menunjukkan hasil signifikan dari laju pertumbuhan jumlah sel alga.
2. Dilakukan analisis berat kering biomassa yang terbentuk untuk mengetahui akumulasi logam kromium dalam sel mikroorganisme konsorsium.
3. Dilakukan pengamatan pada reaktor single culture pada alga yang dikonsorsiumkan



## DAFTAR PUSTAKA

- Aarti, S., Ababna, H., Fathi, A.A. 2008. "Toxicological Response of The Green Algae to Some Heavy Metals. **American Journal of Environmental Sciences**, 6 (3) : 230-237.
- Ali, S.M., Nasr, H.S., Abbas, M.T. (2015). "Using Diazotrophic Bacteria for Biomass Production of Microalgae." **Egyptian Journal of Environmental Research**, 3 : 41-52.
- Ambas, S dan R, Susilowati. 2010. "Produksi Biodiesel dari Alga". **Jurnal Teknik Lingkungan Squalen**, Vol.5.
- American Geological Institute. 1976. "**Dictionary of Geological Terms**". Revised Edition. Anchor Books: New York
- Arifin. 1997. "**Studi Interaksi antara Kadmium dan Fitoplankton Lingkungan Laut**". Thesis. Program Pasca Sarjana Program Studi Kimia FMIPA UGM Yogyakarta.
- Arunakumara, K., Zhang, X., Song, X. 2007. "Bioaccumulation of Cd(II) and its effects on growth, morphology and pigment contents of *Spirulina platensis*. **Journal of Ocean**. University Of China, 7(4), 397-403.
- Awalina, I. (2011). "Pembuatan Biodiesel dari *Spirulina platensis* Berpengaduk". **Valensi**, 1(2): 100-108
- Azizah, N. 2010. "Absorption of Microorganism". **Elsevier Journal of Biochem Engineering**.
- Becker, E.W. 1994. "**Microalgae in Biotechnology and Microbiology**". Cambridge : Cambridge University Press.
- Bellinger, E. 2010. "**Freshwater Algae (Identification and Use as Bioindicators)**". Wiley Blackwell: London.
- Bitton, Gabriel. 2005. "**Wastewater Microbiology Third Edition**". Canada : John Wiley and Sons, Inc.
- Bold and Wynne. 1985. "**A Biology of Marine Algae**". Hutchinson Education Ltd, London. 418 hal

- Borowitzka, M.A., Miyachi, S., 1988. **"Microalgal Biotechnology"**. Cambridge University Press.
- Budiyanto, W. 2015. "Pemanfaatan limbah cair industri tahu untuk produksi biomassa mikroalga *Nannochloropsis* sp. sebagai bahan baku biodiesel." **Reaktor**, 15: 253 – 260.
- Bulgariu, L. 2015. "Potential use of alkaline treated algae waste biomass as sustainable biosorbent for clean recovery cadmium (II) from aqueous media". **Journal of Cleaner Production Elsevier**.
- Bourquin, A.W. 2010. "Bioremediation of Hazardous Waste Biofuture".
- Celekli, Abuzer., Bozkurt, Huseyi. 2011. **"Biosorption of cadmium and nickel ions using *Spirulina platensis* : Kinetic and Equilibrium studies"**. Department of Biology Faculty Art and Science.
- Chovanova, K., Sladekova D., Kmt V., Proksova M. 2004. **"Identification and characterization of eight cadmium resistant bacterial isolates from a cadmium contaminated sewage sludge"**. Biologia Bratislavia
- De La Noue J., dan De Pauw N. 1988. "The potential of microalgae biotechnology. A review of production and use of microalgae". **Journal of Biotechnology Advance**, 6: 725-760.
- Dianursanti, 2012. **"Pengembangan Sistem Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* dalam Reaktor Plat Datar Melalui Optimasi Pencahayaan Menggunakan Teknik Filtrasi pada Aliran Kultur Media"**. Disertasi. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Program Studi Teknik Kimia. Depok
- Droste, R. 2007. **Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment**. John Wiley and Sons. New York. USA.
- Edris, G., Alhamed, Y., Alzahrani, A. 2014. "Biosorption of cadmium and lead from aqueous solutions by *Chlorella*

- vulgaris* biomass : equilibrium and kinetic study". Arab. **Journal of Science Engineeeting** 14(2):6321-6324.
- Esmaeili, L. 2015. "**Bioaccumulation and Toxic Effect of Zinc on The Green Alga Chlorella vulgaris**". Thesis Universite Du Quebec A Montreal.
- Evi, A. 2003. **Kultur Fitoplankton (Chlorella sp. dan Tetraselmis chuii) pada Skala Laboratorium**. Jatinangor : Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran
- Fogg, G. E. dan Thake, B. 1987. "**Algal Cultures and Phytoplankton Ecology 3<sup>rd</sup> ed.**" Wisconsin: The University of Wisconsin Press.
- Frank, C. 1994. "**Toksikologi Dasar (Asas Penilaian Resiko)**". Terj.Iwan D. Jakarta : UI Press.
- Ghoneim, M., Desoky H., Moselhy, K., Amer, A. 2014. "Removal of cadmium from aqueous solution using marine green algae, *Ulva lactuca*". **Egyptian Journal of Aquatic Research**. National Institue of Oceanography and Fisheries.
- Glick, B., Pasternack. 2001. "**Molecular Biotechnology**". ASM Press. Washington DC. USA
- Goldman., Horne. 1983. "**Limnology**". McGraw-Hill, Inc. Auckland.
- Hartanto, Hermawan., Hariyati, Riche., Retnaningsih, Tri. 2013. "Pertumbuhan Populasi Chlorella vulgaris bejjerinck dengan perlakuan penambahan logam berat tembaga (Cu) pada Skala Laboratorium". **Jurnal Biologi**, Voulume 2. Departemen Biologi Fakultas Sains dan Matematika. Universitas Diponegoro.
- Iqbal,M., Saeed,A., Zafar, S.I., 2007. "Hybrid biosorben innovative matrix to enhance the biosorption of Cd(II) aqueous solution". **Journal of Hazard Matter**. 148, 47-55.
- Isnansetyo, A. dan Kurniastuti.1995. "**Teknik Kultur phytoplankton zooplankton Pakan Alami untuk Pembenihan Organisme Laut**". Yogyakarta: Kanisius

- Istarani, F dan Pandebesie, E S. 2014. "Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan". **Jurnal Teknik Pomits** Vol. 3, No. 1.
- Jelantik,S. 2003. "**Diktat Ekologi Hewan**". Singaraja: IKIP Negeri Singaraja.
- Karsten, U., Kirst, G.O. 1989. "The effect of salinity on growth, photosynthesis and respiration in the estuarine red alga *Bostrychia radicans* Mont." **Hegolander Meeresuntersuchungen**, 43, 61-66.
- Kesaano, M., Sims, R. 2014. "Algal biofilm based technology for wastewater treatment". **Journal of Algal Reesearch Elsevier**, 9(21):3140-3143.
- Kullenberg, G. 1987. "**Pollutant Transfer and Transport in The Sea**". Vol II. Florida: CRC Press. Inc.
- Latala, Adam. 1997. "**Effects of salinity temperature and light on the growth and morphology of green planktonic algae**". Institute of Oceanography, University of Gdansk.
- Leroi, F., Fall, P.A., Pilet, M.F., Chevalier, F., dan Baron, R. (2012). "Influence of temperature, pH and NaCl concentration on the maximal growth rate of *Brochothrix thermosphacta* and a bioprotective bacteria *Lactococcus piscium* CNCM I-4031". **Food Microbiology**, 31(2): 222 – 228.
- Lina, K. 2008. "**Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air**". Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
- Madigan, M. T., Martinko, J.M., dan Parker, J. 2000. **Brock Biology of Microorganisms 9<sup>th</sup> ed.** Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Mahdi, M.Z., Titisari, Y.N., Hadiyanto. 2012. "Evaluasi Pertumbuhan Mikroalga dalam Medium Pome: Variasi Jenis Mikroalga, Medium dan Waktu Penambahan Nutrient". **Jurnal Teknologi Kimia dan Industri**, Vol 1, No.1. 284-291.
- Man K.L. 2016. "Cultivation of *Chlorella vulgaris* using nutriens source from domestic wastewater for biodiesel

- production: Growth condition kinetic studies". **Journal Renewable Energy Research Gate**.
- Mansson, Stina. 2012. "**Cultivation of Chlorella vulgaris in nutrient solution from greenhouse tomato production**". Thesis. Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Sciences.
- Mara, D. 2003. **Domestic Wastewater Treatment**. London : Earthscan
- Marr., Cresser. 1987. "**Environmental Chemistry Analysis**". New York : International Text Book Company.
- Noctor, G., dan Foyer, C.H. 1998. *Ascorbate and Glutathione: Keeping Active Oxygen under Control*. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 49 : 249-279.
- Pelczar, J. M. dan Chan, E.C.S. 1986. **Dasar-dasar Mikrobiologi Jilid I**. Diterjemahkan oleh Ratna Siri Hadioetomo. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Peter, A., Kilar, F. Felinger Attila. Pernyezi, Timea. 2015. "**Biosorption characteristics of Spirulina and Chlorella cells for the accumulation of heavy metals**"
- Phukan, M., Chutia, K. Katak, R. 2011. "Microalgae *Chlorella* as a Potential Bioenergi Feedstock". **Journal of Applied Energy Elsevier**, 45(5): 483-487
- Prescott, S.G dan C.G. Dunn. 2008. "**Industrial Microbiology**". New York: McGraw Hill Book Company
- Prihantini, N.B., Putri, B., dan Yuniati, R. (2005). "Pertumbuhan *Chlorella* spp. dalam Medium Ekstrak Tauge (MET) dengan Variasi pH Awal". **MAKARA, SAINS**, 9(1): 2.
- Pufelski, N., Aravinthan, V. & Yusaf, T. (2010). "How effective is microalgae treatment of nursery wastewater for nutrient removal?". **Southern region engineering confrence**, Towoomba, Australia.
- Purnamawati, Florensia., Retnaningsih Tri., Izzati Munifatul. 2013. "**Pertumbuhan Chlorella vulgaris dalam media yang**

- mengandung logam berat Cd dan Pb skala laboratorium**". Thesis. Biologi FMIPA Undip.
- Ramaraj, R., Unpaprom, Y., dan Dussadee, N. (2014). Cultivation of Green Microalga, *Chlorella vulgaris* for Biogas Purification. **International Journal of New Technology and Research (IJNTR)** 3 (2): 117-122.
- Rangsayatorn, N., Upatham, E.S., Lanza, G.R., 2002. **"Phytoremediation potential of Spirulina platensis : biosorption ad toxicity studies of cadmium. Jurnal environmental pollution"**. Department of Biology Faculty of Science. Mahidol University Thailand.
- Saavedra, M., dan Voltolina, D. (2005). *The Growth Rate, Biomass, Production, and Composition of Chaetoceros sp. Grown with Different Light Sources*. **Journal Aquaculture Engineering** (35): 161-165.
- Savitri, P. 2011. **"Kajian Kandungan Logam Berat pada Ikan Air Tawar di Pasar Tradisional dan Pasar Swalayan Kota Bandung"**. Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Sari, D. 2013. **"Analisa Instrumen Spektrofotometri Serapan Atom"**. Jakarta: Yayasan Humaniora.
- Scherholz., Curtiz. 2013. "Achieving ph control in microalgal cultures through fed batch addition of stoichiometrically-balanced growth media". **Research Article of BioMed Central** 13:39.
- Shen, Y. Li, H. Zhu, W., Ho, S-H., Yuan, W., Chen, J., Xie, Y. 2017. "Microalgal-biochar immobilized complex: a novel efficient biosorbent for cadmium removal from aqueous solution". **Bioresource technology**.
- Subowo, K. 1999. **"Pengaruh Logam Berat Pb dalam Tanah terhadap Kandungan Pb, Pertumbuhan Tanam Caisem. Prosiding Seminar Sumber Daya Tanah"**. Puslittanak. Bogor. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Triatmojo, A. 2017. "**Pengaruh Intensitas dan Durasi Paparan Cahaya Light Emitting Diodes (LEDs) pada Sistem High Algal Reactor dalam Pengolahan Limbah Cair Laundry**". Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Vankar, P.S., Sarwat, R, Dwivedi, A.K., Sahu, R.S., 2013. "An Assesment and characterization for biosorption efficiency of natural dye waste". **Journal of Cleaner Production**. 60. 65-70.
- Venkataraman, G.S. 1969. "The Cultivation of Algae". **Indian Council of Agricultural Research**. New Delhi.
- Vilar, V.J.P., Loureiro, J.M., Botelho, C.M.S., Boaventura, R.A.R., 2008. "Continuous biosorption of Pb/Cd in fixed bed column using algae". **Journal of Hazard Matter**. 154,1173-1182.
- Volesky, B. 1990. "**Biosorption of Heavy Metals**". Boston: CRC Press.
- Wang C Y, Fu, C.C., Liu, Y.C. 2007. "Effect of using light-emitting diodes on the cultivation of *Spirulina platensis*". **Journal of Biochem Engineering**. 37(3): 565-569.
- Wibowo, S., Haryoto. 2004. "Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium oleh Fitoplankton *Chlorella sp* Lingkungan Perairan Laut". **Jurnal Research Gate**. Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wong, J.P.K, Wong Y.S, Tam, N.F.Y., 2007. "Nickel biosorption by two chlorella species, *C. Vulgaris* and *C. Minata*". **Bioresour. Technol**. 73, 133-137.
- Yafeth,W., Mangimbulude, J., Rondonuwu, F. 2015. "**Potensi Chlorella sp sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat di Air**". Tugas Akhir Porogram Studi Biologi Universitas Kristen Satya Wacana.
- Yentsch, C.S., Menzel, D.W. 1963. "A method for determinations of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence". **Deep Sea Research**. 10:221-231.

- Zhou, Weizhi., Li, Yating., Gao, Yizhan, Zhao, Haixia. 2017. "Nutrients removal and recovery from saline wastewater by *Spirulina platensis*". **Journal of Bioresource Technology Elsevier** 245(2017) 10-17.
- Zulaika, Enny., Kusuma, Ryan. 2014. "**Potensi Chlorella sp. Sebagai bioakumulator logam berat kadmium**". Thesis. Jurusan Biologi, FMIPA ITS.

# LAMPIRAN

## A. Prosedur Tahapan Penelitian

### A.1. Tahapan Propagasi Alga

#### a. Alat dan Bahan

##### 1. Alat

- Reaktor propagasi 3 L steril
- *Laminar air flow*
- *Refrigerator* / Lemari pendingin
- Plastik wrap
- Aerator dan selang aerator steril
- Mikropipet dan tip 1 mL dan 10 mL steril
- Erlenmeyer 1 L dan 2 L
- Gelas ukur 100 mL steril
- Kapas lemak dan kasa
- Kertas minyak
- Karet gelang

##### 2. Bahan

- Biakan induk alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*
- Air laut komersil steril
- Pupuk Walne
- Vitamin

#### b. Langkah Kerja

##### a. Pembuatan larutan propagasi

1. Air laut komersil disiapkan. Pada penelitian ini, penulis membeli air laut di tempat penjualan ikan hias di Surabaya.
2. Ambil air laut dan tuangkan ke dalam Erlenmeyer 1 L dan atau 2 L. Volume disesuaikan dengan kebutuhan.
3. Tutup Erlenmeyer dengan kapas lemak dan kertas minyak kemudian eratkan dengan karet gelang.
4. Larutan propagasi yang telah siap dalam selanjutnya disterilkan menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dan tekanan 1,1 kg/cm<sup>2</sup> selama 2 jam (APHA, 2012 ; Presscot, 2002).

5. Setelah selesai, keluarkan dari *autoclave* kemudian siap untuk digunakan setelah suhunya berubah menjadi suhu kamar (25°C).
- b. Uji pertumbuhan alga
1. Biakan induk, larutan propagasi, dan peralatan steril yang diperlukan lainnya telah disiapkan sebelumnya.
  2. Kultivasi alga dilakukan dengan mencampurkan 30% kultur masing-masing alga ke dalam 70% media tumbuh (Isnansyoto dan Kurniastuti, 1995 ; Kawaroe *et.al.*, 2010). Oleh karenanya, larutan propagasi yang diperlukan sebanyak 700 mL air laut steril dalam Erlenmeyer 1 L.
  3. Diambil 300 mL biakan induk alga menggunakan gelas ukur steril dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang telah berisi air laut steril sebelumnya.
  4. Ditambahkan pupuk Walne dan vitamin dengan konsentrasi masing-masing 1 ml/L menggunakan mikropipet 1 mL ke dalam Erlenmeyer tersebut (Isnansyoto dan Kurniastuti, 1995).
  5. Kegiatan pencampuran tersebut (disebut inokulasi) dilakukan secara aseptik (Purnamawati, et al., 2015 ; Maligan, et al., 2015). Mulut Erlenmeyer harus dibakar pada api Bunsen setiap sebelum dan sesudah inokulasi dilakukan. Kegiatan dilakukan di dalam Laminar Air Flow dengan jarak maksimum 20 cm dari api Bunsen.
  6. Setelah selesai, 1 buah selang aerator dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dengan posisi kapas lemak masih tertancap pada mulut Erlenmeyer.
  7. Kultivasi dilakukan selama 7-14 hari (Arnata, et al., 2013) dengan penambahan aerasi 24 jam, pencahayaan 6000-7000 Lux pada permukaan media dengan menggunakan lampu fluorescens (Maligan, et al., 2015). Periode pencahayaan 12/12 (Liang, *et.al.*, 2013 ; Nacorda, *et.al.*, 2010) serta rentang suhu 25-27°C (Nacorda, *et.al.*, 2010).
  8. Dilakukan perhitungan jumlah sel alga setiap 24 jam sesuai langkah pada lampiran A.11 mulai dari hari ke-

0 hingga waktu kultivasi selesai. Kemudian hasil analisis diplotkan untuk mendapatkan kurva pertumbuhan alga. Dari kurva tersebut akan didapatkan waktu fasa eksponensial dan munculnya *second generation* yang diperlukan untuk uji *Range Finding Test* dan uji penyisihan kromium.

c. Kultivasi Alga

1. Kultivasi alga bertujuan untuk memperbanyak biakan induk sehingga peneliti dapat memiliki cadangan stok biakan alga (Anderson, 2005).
2. Kultivasi alga dilakukan dengan mencampurkan 30% kultur alga ke dalam 70% media tumbuh (Isnansyio dan Kurniastuti, 1995 ; Kawaroe *et.al.*, 2010)
3. Biakan induk, larutan propagasi, dan peralatan yang diperlukan lainnya telah disiapkan sebelumnya. Pada perbanyakkan stok ini, digunakan reaktor propagasi dengan kapasitas 3 L.
4. Reaktor propagasi diisi dengan air laut steril sebanyak 2.100 mL.
5. Diambil 900 mL biakan induk alga menggunakan gelas ukur steril kemudian dimasukkan ke dalam reaktor yang telah berisi air laut steril sebelumnya.
6. Ditambahkan pupuk Walne dan vitamin dengan konsentrasi masing-masing 1 ml/L menggunakan mikropipet 10 mL ke dalam reaktor tersebut (Isnansyio dan Kurniastuti, 1995).
7. Kegiatan pencampuran tersebut (disebut inokulasi) dilakukan secara aseptik (Purnamawati, et al., 2015 ; Maligan, et al., 2015). Kegiatan dilakukan di dalam *Laminar Air Flow* dengan jarak maksimum 20 cm dari api Bunsen.
8. Setelah selesai, 2 buah selang aerator dimasukkan ke dalam reaktor.
9. Kultivasi dilakukan hingga akhir fasa log / eksponensial alga yang didapat dari kurva uji pertumbuhan di sub bagian sebelumnya. Kultivasi dilakukan dengan penambahan aerasi 24 jam, pencahayaan 6000-7000 Lux pada permukaan media dengan menggunakan lampu fluorescens (Maligan, et

al., 2015). Periode pencahayaan 12/12 (Liang, *et.al.*, 2013 ; Nacorda, *et.al.*, 2010) serta rentang suhu 25-27°C (Nacorda, *et.al.*, 2010).

10. Setelah memasuki akhir fase log / eksponensial, alga selanjutnya dipanen dan diletakkan dalam wadah botol plastik yang telah disterilkan sebelumnya.
11. Mulut botol berisi stok biakan diberi wrap untuk mencegah kontaminasi.
12. Simpan biakan tersebut pada lemari pendingin bersuhu 4°C dan biakan tersebut siap untuk digunakan pada penelitian selanjutnya (APHA, 2012 ; Tam, *et.al.*, 1998).

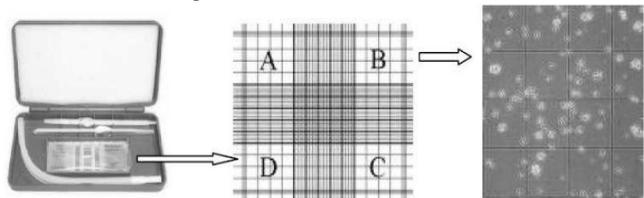
## A.2. Penghitungan Jumlah Sel dengan *Haemocytometer*

### a. Alat dan Bahan:

- Mikroskop Elektron
- Haemocytometer* Neubauer Improved
- Kaca penutup
- Pipet tetes
- Sampel masing-masing alga yang ingin dihitung
- Alkohol 90%
- Aquades

### b. Langkah Kerja :

1. Bersihkan *haemocytometer* dan kaca penutup dengan menggunakan alkohol dan tisu
2. Tempatkan *haemocytometer* di atas meja preparat dan jepit agar tidak bergerak
3. Ambil cairan sampel alga yang dihomogenkan terlebih dahulu dengan mengaduk wadah sampel, sebanyak 0.5 ml dengan menggunakan pipet tetes
4. Teteskan cairan alga ke atas bidang hitung yang ada di tengah *haemocytometer* dan tutup dengan kaca penutup
5. Fokuskan lensa objektif dan okuler pada perbesaran 100 x dan atur intensitas cahaya hingga garis-garis bidang hitung terlihat dengan jelas
6. Hitunglah dengan ketentuan sebagai berikut:  
Hemositometer terdiri dari 4 kamar hitung. Setiap kamar hitung terdiri dari 16 kotak.



6. Hitung sel pada 4 kamar hemositometer. Sel yang gelap (mati) dan sel yang berada dibatas luar di sebelah atas dan di sebelah kanan tidak ikut dihitung. Sel di batas kiri dan batas bawah ikut dihitung.

7. Hitung jumlah sel per mL dengan rumus dibawah.

$$\text{Jumlah sel terhitung /mL} = \frac{\sum \text{ sel kamar A} + \sum \text{ sel kamar B} + \sum \text{ sel kamar C} + \sum \text{ sel kamar D}}{4} \times 10^4$$

(Cancer Research Center Farmasi UGM, 2011)

### A.3. Tahapan Analisis Klorofil

- a. Pembuatan Reagen
  1. Larutan Magnesium karbonat jenuh
    - 1 gram bubuk  $MgCO_3$  diencerkan dengan aquadest hingga volumenya 100 mL
    - Aduk hingga larutan keruh dan biarkan mengendap
    - Bagian bening (supernatan) yang terbentuk adalah larutan Magnesium karbonat yang dipakai
  2. Larutan Aseton
    - Campurkan 10 mL larutan magnesium karbonat dengan 90 mL larutan aseton (pembuatan larutan magnesium karbonat + larutan aseton)
  3. Larutan HCl 0,1 N
    - Diambil 0,2 mL HCl pekat kemudian diencerkan dengan aquadest hingga 250 mL
- b. Alat yang diperlukan
  1. Spektrofotometer dan kuvet
  2. *Beaker glass* 100 mL
  3. Pipet ukur 10 mL
  4. Gelas ukur 25 mL
  5. Pipet tetes
- c. Langkah Kerja
  1. Metode diambil dari "*The 22<sup>nd</sup> Edition : Standard Method for The Examination of Water and Wastewater*" oleh APHA, AWWA, dan WPFC tahun 2012 yang dimodifikasi sesuai eksperimen yang akan dilakukan.
  2. Diambil sampel sebanyak 15 mL dengan tabung *centrifuge*
  3. Sampel disentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 30 menit
  4. Supernatan bening yang terbentuk dibuang. Sisakan 0,5 – 2,5 mL untuk mencampur endapan/pelet alga yang mengendap di dasar tabung *centrifuge*. Kocok hingga endapan alga tersuspensi kembali. Catat volume akhir suspensi.
  5. Diambil suspensi alga pada dasar tabung *centrifuge* dengan menggunakan pipet ukur
  6. Masukkan alga tersebut ke dalam labu ukur 25 mL
  7. Tambahkan aseton 2 mL
  8. Aduk selama 1 menit

9. Tambahkan aseton hingga volume menjadi 10 mL pada batas labu ukur. Tuangkan ke *beaker glass* 100 mL.
10. Disentrifugasi kembali dengan kecepatan 500 rpm selama 20 menit hingga didapat sampel yang siap diuji dengan spektrofotometri.
11. Supernatan bening (kuning – kehijauan) diambil dan dibaca dengan spektrofotometri pada panjang gelombang 750 nm dan 664 nm. Kalibrasi spektrofotometer dengan larutan aseton.
12. Catat hasil pembacaan. Tuangkan kembali supernatan dari kuvet ke *beaker glass*.
13. Tambahkan 1-2 tetes larutan HCl 0,1 N ke dalam sampel. Homogenkan dengan menggoyang-goyangkan sampel.
14. Diambil sampel dan dibaca kembali dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 750 nm dan 665 nm. Catat hasil pembacaan.
15. Dihitung hasil pembacaan menggunakan rumus LORENZEN (1967) yang dijelaskan dalam (Riyono, 2006) dan (APHA, 2012) sebagai berikut :

$$\text{Klorofil a (mg/m}^3\text{)} = \frac{26,7 (664b - 665a) \times V_e}{V_s \times d}$$

Keterangan :

664 b = penyerapan pada panjang gelombang 664 nm sebelum penambahan asam dikurangi dengan panjang gelombang 750 nm

665 a = penyerapan pada panjang gelombang 665 nm setelah penambahan asam dikurangi dengan panjang gelombang 750 nm

$V_e$  = volume aseton sebagai ekstrak yang dicampurkan ke sampel (mL)

$V_s$  = volume sampel yang disentrifugasi (L)

$d$  = lebar kuvet, *path-length* (cm)

#### A.4. Pembuatan Larutan Pencemar CdSO<sub>4</sub>

- a. Alat dan Bahan
    - Serbuk CdSO<sub>4</sub>
    - Aquades
    - Neraca Analisis
    - Spatula
    - Gelas beaker
    - Labu Pengencer 1 L
  - b. Langkah Kerja
1. Hitung massa CdSO<sub>4</sub> yang diperlukan untuk membuat CdSO<sub>4</sub> dengan konsentrasi yang dibutuhkan dengan rumus sebagai berikut

$$\begin{array}{ll} \text{Ar Cd(II)} & : 113 \\ \text{Mr CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O} & : 769,51 \end{array}$$

Untuk konsentrasi 1000 ppm maka massa CdSO<sub>4</sub> yang diambil adalah :

$$\text{Mr CdSO}_4 / \text{Ar Cd} \times 1000 \text{ mg/l} \times 1 \text{ L} = 2,29 \text{ mg}$$

2. Ambil serbuk CdSO<sub>4</sub> sebanyak hasil hitungan sebelumnya dibantu dengan neraca analitik
3. Larutkan di dalam labu pengencer dengan menggunakan aquades, lalu homogenkan dengan mengaduk-aduk.
4. Kemudian untuk masing-masing konsentrasi yang diinginkan dapat diambil dari larutan stock 1000 ppm dengan rumus  $V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2$

#### A.5 Tahapan Uji RFT (*Range Finding Test*)

- a. Alat dan Bahan
  1. Alat
    - Labu erlenmeyer 250 mL
    - *Rotary shaker*
    - Mikropipet dan tip 1 mL dan 10 mL steril
    - Kertas lemak dan kasa
    - Kertas minyak
    - Karet gelang
  2. Bahan
    - Biakan alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*
    - Larutan stok CdSO<sub>4</sub> dengan konsentrasi tertentu
    - Air laut steril

- Pupuk walne
- Vitamin B12

b. Langkah Kerja

1. Biakan alga yang merupakan *second generation* dan memasuki fase log / eksponensial dipanen (Syed Sabudeen P.S., *et.al.*, 2014).
2. Perbandingan inokulum dan media adalah 10%:90%. Total volume dalam Erlenmeyer maksimal hanya 200 mL agar tidak tumpah saat dilakukan shaker.
3. Diencerkan larutan stok kromium 1000 mg/L menjadi 5 konsentrasi yakni 510, 50, 100, dan 250 mg/L dengan volume 180 mL menggunakan rumus pengenceran. Setiap konsentrasi disediakan dalam 2 labu erlenmeyer untuk kedua alga
4. Tuangkan larutan stok kromium yang telah diencerkan sesuai konsentrasi masing-masing ke dalam 10 labu erlenmeyer yang telah berisi alga. Untuk konsentrasi 0 mg/L digunakan air laut steril sebanyak 180 mL. Kemudian seluruh Erlenmeyer berisi media tumbuh tersebut disterilkan menggunakan *autoclave*.
5. Selanjutnya dilakukan inokulasi biakan alga yang telah memasuki setengah fase eksponensial sebanyak 20 mL menggunakan mikropipet ke dalam masing-masing media dalam Erlenmeyer yang telah disiapkan di point 4 secara aseptik.
6. Ditambahkan pupuk Walne dan vitamin dengan konsentrasi masing-masing 1 ml/L menggunakan mikropipet 1 mL ke dalam erlenmeyer tersebut (Isnansyoto dan Kurniastuti, 1995). Pada penelitian ini dilakukan penambahan sebanyak 0,2 mL ke dalam masing-masing Erlenmeyer.
7. Pencahayaan diberikan terhadap 12 labu erlenmeyer menggunakan lampu fluorescent dengan intensitas 6000-7000 lux (Triatmojo dan Tangahu, 2017) dan periode pencahayaan 12/12 (Liang, *et.al.*, 2013 ; Nacorda, *et.al.*, 2010).

8. Labu erlenmeyer selanjutnya diletakkan di atas *Rotary shaker* dan dilakukan pengadukan dengan kecepatan 100 – 130 rpm (Kusuma dan Zulaika, 2014).
9. Uji RFT dilaksanakan selama 7 hari dan dilakukan perhitungan jumlah sel alga pada hari ke 0, 4, dan 7 (Triatmojo dan Tangahu, 2017) sesuai dengan langkah pada lampiran A.11.
10. Seluruh langkah sedapat mungkin dilakukan secara aseptik. Setelah 7 hari, dilakukan analisis dari hasil perhitungan jumlah sel untuk mendapatkan nilai konsentrasi minimum yang dapat menghambat perkembangan alga

## **A.6 Pengukuran dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)***

Spektrometri Serapan Atom (SSA) dalam kimia analitik dapat diartikan sebagai suatu teknik untuk menentukan konsentrasi unsur logam tertentu dalam suatu cuplikan. Teknik pengukuran ini dapat digunakan untuk menganalisis konsentrasi lebih dari 62 jenis unsur logam. Suatu alat absorpsi atom terdiri dari komponen-komponen dasar yang sama seperti spektrofotometer biasa, jadi mengandung : sumber radiasi, monokromator, tempat cuplikan (dalam hal ini nyala), detector dan indikator penguatan (amplifier). Prinsip Dasar SSA :

1. Cuplikan atau larutan cuplikan dibakar dalam suatu nyala atau dipanaskan dalam suatu tabung khusus (misal tungku api).
2. Dalam setiap atom tersebut ada sejumlah tingkat energi diskrit yang ditempati oleh elektron. Tingkat energy biasanay dimulai dengan  $E_0$  bila berada pada keadaan dasar (ground state level) sampai  $E_1$ ,  $E_2$  sampai  $E_\infty$ . Energi yang dibutuhkan untuk transisi elektron itu dapat dipenuhi oleh foton atau cahaya yang setara dengan :

$E = hv$  Dengan  $h =$  tetapan Planck dan  $v =$  frekuensi

1. Dilanjutkan dengan sistem pengatoman dalam spektrofotometer serapan atom merupakan bagian yang sangat penting karena pada sistem ini ditempatkan senyawa yang akan dianalisis. Bagian ini terdiri dari system pengabut (nebulizer) dan sistem pembakar (burner) sehingga sering disebut system pengabut pembakar. Untuk menghasilkan nyala yang diperlukan dalam spektrofotometer serapan atom, dipakai bermacam-macam campuran gas sebagai gas pengoksidasi dan bahan bakar yang jenis serta komposisinya tergantung pada suhu nyala api yang

dikehendaki. Atom yang sudah terionisasi bebas ini ditembakkan cahaya dan diukur serapan cahaya nya. (Sari, 2013)

Dalam analisis konsentrasi logam berat yang terdapat pada sampel yang diukur pada penelitian ini pertama-tama dilakukan pengukuran absorbansi larutan standard larutan  $\text{CdSO}_4$  untuk memperoleh kurva kalibrasi, lalu dilanjutkan dengan pengukuran AAS untuk setiap sampel.

## B. Lampiran Hasil Analisis

### 1. Hasil Analisis pH pada Tahap Propagasi

Chlorella vulgaris	
Hari	pH
0	6.6
1	7.44
2	8.1
3	8.01
4	8.26
5	8.45
6	8.55
7	8.33

Spirulina platensis	
Hari	pH
0	7.58
1	8.18
2	8.36
3	8.57
4	8.52
5	8.75
6	8.72
7	8.43

### 2. Hasil Analisis Salinitas pada Tahap Propagasi

Chlorella vulgaris	
Hari	Salinitas
0	33.8
1	32.9
2	35.3
3	36.4
4	37
5	37
6	42.1
7	37.8

Spirulina platensis	
Hari	Salinitas
0	33.7
1	32.9
2	34.7
3	35.5
4	35.8
5	35.8
6	36.7
7	35.9

### 3. Hasil Analisis Jumlah Sel pada Tahap Propagasi

Hari	Jumlah Sel <i>Chlorella vulgaris</i> (x 10 <sup>4</sup> sel/ml)
0	200
1	1124
2	1273
3	4013
4	5575
5	5050
6	5520
7	4970

Hari	Jumlah Sel <i>Spirulina platensis</i> (x 10 <sup>4</sup> sel/ml)
0	3
1	20
2	45
3	62
4	131
5	167
6	130
7	220

### 4. Hasil Analisis Klorofil a pada Tahap Propagasi

Hari	Klorofil a <i>Chlorella vulgaris</i> (mg/L)
0	1.78
1	14.24
2	13.35
3	70.31
4	453.9
6	1289.61
7	281.24
8	100.57

Hari	Klorofil a <i>Spirulina platensis</i>
0	152.19
1	287.47
2	264.33
3	727.13
4	801
5	3676.59
6	21.36
7	151.3

#### 5. Hasil Analisis Optical Density pada Tahap Propagasi

<i>Chlorella vulgaris</i>	
Hari	OD
0	0.098
1	0.215
2	0.257
3	0.308
4	0.468
5	0.48
6	0.611
7	0.63

Spirulina platensis	
Hari	OD
0	0.047
1	0.069
2	0.158
3	0.2
4	0.245
5	0.32
6	0.303
7	0.359

6. Hasil Analisis Jumlah Sel *Chlorella vulgaris* pada Tahap Bioremediasi ( $\times 10^4$  sel/ml)

Reaktor	Hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0A	0	0	0	0	0	0	0	0
0B	96.4	129	174.4	185.6	192.8	195.4	196.2	197.2
0C	73	106.6	137	147	172.8	182.4	187	193.6
0D	37.2	49	72	90.6	105.4	106.6	102	95.6
20A	0	0	0	0	0	0	0	0
20B	82.4	87.2	94	105.2	111.2	108.6	106.4	101.2
20C	78.4	89.6	99.2	102.4	105.6	106.4	104.8	102.2
20D	39.2	46.8	53.6	57.8	62.4	64.8	67	73.6
35A	0	0	0	0	0	0	0	0
35B	67.6	82.4	92.4	130.8	182.2	191.2	196.8	199.2
35C	43.8	77.8	87.2	105.6	129	140.4	151.2	156.4
35D	27.2	49	76.4	99.6	117.4	129	138.4	144.2

7. Hasil Analisis Jumlah sel *Spirulina platensis* pada Tahap Bioremediasi ( $\times 10^4$  sel/ml)

Reaktor	Hari ke							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0A	0	0	0	0	0	0	0	0
0B	22.8	25.6	31.2	36.4	38.8	40.8	43	46.4
0C	56.6	59	64.2	67	71.2	76.4	77.6	78.4
0D	60.8	64.2	67.6	67	72.4	76.4	78.8	82.2
20A	0	0	0	0	0	0	0	0
20B	19.2	22.6	27.6	31.6	35	39.2	42.2	44.6
20C	45	47.2	51	56.4	58.6	60.4	62.8	71
20D	77.2	79.6	82.4	86.6	91.2	95.6	96.4	99.2
35A	0	0	0	0	0	0	0	0
35B	24.6	26.8	31.2	37.8	40.4	44.6	49.2	60.4
35C	41.2	46.8	51.6	53.2	54.6	59.2	60.8	64.2
35D	65	66.4	71.2	74.4	77.6	79.2	82.4	86.2

8. Hasil Analisis pH setiap Reaktor pada Tahap Bioremediasi

Reaktor	Hari ke							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0A	7.8	6.67	6.7	6.7	7.2	7.21	7.22	7.25
0B	6.6	6.9	6.9	6.95	7.21	7.39	7.41	7.56
0C	7.5	7.7	7.82	7.64	7.75	7.88	7.9	8.01
0D	6.5	6.6	6.9	7.9	7.9	7.92	8.01	8.2
20A	6.5	6.7	7.1	7.25	7.3	7.75	7.74	7.8
20B	6.8	6.8	7	7.3	7.83	7.89	7.91	8.05
20C	7.25	7.3	7.4	7.8	8.07	8.1	8.16	8.2
20D	6.7	7.1	7.7	7.9	8.02	8.06	8.2	8.33

Reaktor	Hari ke							
	0	1	2	3	4	5	6	7
35B	7.4	7.7	7.71	7.84	7.87	7.89	8.01	8.05
35C	6.7	7.71	7.8	7.81	8.03	8.06	8.08	8.13
35D	6.8	7.84	7.9	8.02	8.09	8.05	8.12	8.14

9. Hasil Analisis Salinitas pada Tahap Bioremediasi (psu)

Reaktor	Hari ke							
	0	1	2	3	4	5	7	
0A	0.02	0.14	0.81	0.91	0.94	0.63	0.87	
0B	0.01	2.69	2.81	2.85	1.92	3.72	3.8	
0C	0.02	1.61	1.7	2.01	2.34	3.73	3.8	
0D	0.01	1.45	1.65	2.33	3.91	4.02	4	
20A	20.01	19.61	19.5	18.61	18.27	19.91	19.57	
20B	20.04	19.35	18.98	19.05	20.23	20.02	20.06	
20C	19.86	19.94	19.8	19.98	20.1	20.45	20.51	
20D	19.74	20.17	19.48	20.09	20.18	20.73	20.84	
35A	35.02	35.14	35.1	35.05	35.5	35.6	35.7	
35B	35.01	35.07	35.04	35.1	35.7	36.2	37.1	
35C	35.04	35.11	35.3	35.3	35.2	35.9	36.9	
35D	35.94	35.1	35.07	35.4	35.6	36.8	37.1	

10. Hasil Analisis Suhu pada Tahap Bioremediasi

Reaktor	Hari ke							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0A	28	28.3	28.6	28.5	28.7	29	29	29.2
0B	28.3	28.8	29.1	29.3	29.6	30	30.2	31
0C	28.6	28.5	28.8	28.5	28.3	28.8	29	30
0D	29	28.6	29.2	29.5	29.7	30.5	30.8	31
20A	28	28.3	28.6	28.5	28.7	29	29	29.2
20B	28.2	29	29.1	29.5	29.6	30.1	30.2	30.5
20C	28.4	28.5	28.8	29	29	29.2	29.6	30
20D	28	28.2	28.6	28.8	29.1	30	30.5	30.7
35A	28	28.2	28.4	28.7	28.7	29	29	29.6
35B	28.3	28.8	29	29.1	29.4	29.7	30.5	31.5
35C	27.8	28.1	28.4	28.6	28.8	29	29.4	29.7
35D	27.5	28	28.3	28.6	29	29.1	29.5	30

## C. Dokumentasi Kegiatan

### 1. Propagasi Alga

-Inokulasi Alga dan Penambahan Nutrien ke Media



-Aerasi, Pengaturan Cahaya dan Penempatan Reaktor

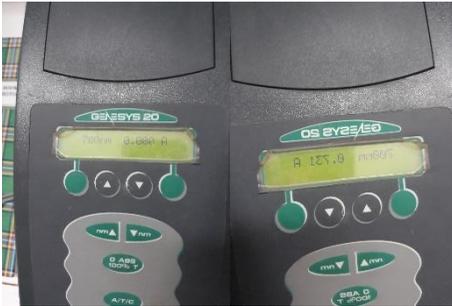


## 2. Analisis Parameter Tahap Propagasi

### - Analisis Klorofil



### - Optical Density



### - Analisis Jumlah Sel



-Analisis pH dan Suhu



-Analisis Salinitas



### 3. Range Finding Test



-*Chlorella vulgaris*

Hari ke-0



Hari ke-7



-*Spirulina platensis*

Hari ke-0



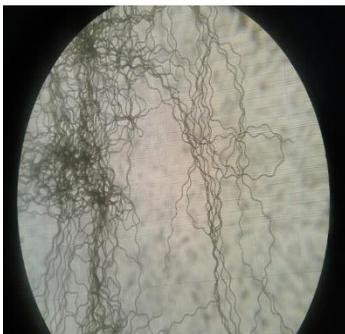
Hari ke – 7



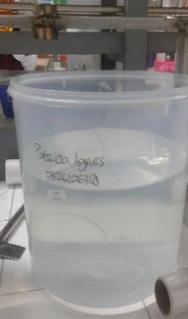
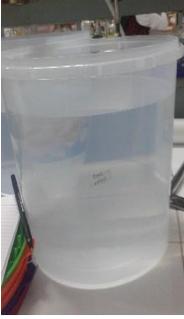
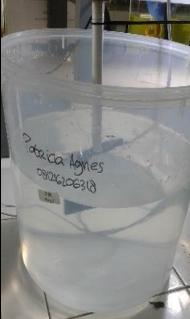
#### 4. Penghitungan Jumlah Sel Tahap Bioremediasi



*Spirulina platensis* dan *Chlorella vulgaris*



## 5. Tahap Bioremediasi

Hari ke-	Reaktor		
Hari ke-0	 <p data-bbox="244 641 472 737">Reaktor 0A (Reaktor kontrol dengan salinitas 0)</p>	 <p data-bbox="517 641 714 759">Reaktor 20A (Reaktor kontrol dengan salinitas 20)</p>	 <p data-bbox="775 641 972 759">Reaktor 35 A (Reaktor kontrol dengan salinitas 35)</p>
Hari ke-7	 <p data-bbox="244 1120 472 1216">Reaktor 0A (Reaktor kontrol dengan salinitas 0)</p>	 <p data-bbox="517 1120 714 1238">Reaktor 20A (Reaktor kontrol dengan salinitas 20)</p>	 <p data-bbox="775 1120 972 1238">Reaktor 35 A (Reaktor kontrol dengan salinitas 35)</p>

<p>Hari ke-0</p>	 <p>Reaktor 0B (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 75: 25 pada salinitas 0)</p>	 <p>Reaktor 0 C (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 50:50 pada salinitas 0)</p>	 <p>Reaktor 0 D (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 25:75 pada salinitas 0)</p>
<p>Hari ke-7</p>	 <p>Reaktor 0B (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 75;25 pada salinitas 0)</p>	 <p>Reaktor 0 C (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 50:50 pada salinitas 0)</p>	 <p>Reaktor 0 D (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 25: 75 pada salinitas 0)</p>

<p>Hari ke-0</p>	 <p>Reaktor 20B (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 75:25 pada salinitas 20)</p>	 <p>Reaktor 20C (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 50:50 pada salinitas 20)</p>	 <p>Reaktor 20D (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 25:75 pada salinitas 20)</p>
<p>Hari ke-7</p>	 <p>Reaktor 20B (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 75:25 pada salinitas 20)</p>	 <p>Reaktor 20C (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 50:50 pada salinitas 20)</p>	 <p>Reaktor 20D (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 25:75 pada salinitas 20)</p>

<p>Hari ke-0</p>	 <p>Reaktor 35B (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 75:25 pada salinitas 35)</p>	 <p>Reaktor 35C (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 50:50 pada salinitas 35)</p>	 <p>Reaktor 35D (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 25:75 pada salinitas 35)</p>
<p>Hari ke-7</p>	 <p>Reaktor 35B (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 75:25 pada salinitas 35)</p>	 <p>Reaktor 35C (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 50:50 pada salinitas 35)</p>	 <p>Reaktor 35D (Reaktor dengan <i>Chlorella vulgaris</i> :<i>Spirulina platensis</i> 25:75 pada salinitas 35)</p>

- Penatan Reaktor, Pengaturan Cahaya dan Pengaduk



-Analisis pH, Suhu, dan Salinitas



- Analisis AAS





# ANALYTICAL REPORT

JOB NUMBER : ENV-  
2181978  
Date : October 09, 2018

Customer:  
**Mrs. Patricia Agnes**

*Attention : Mrs. Patricia Agnes*

---

Signature

Name : Abdul Majid  
Title : Technical Manager

## SAMPLE INFORMATION

Date : October 09, 2018

Job Number : ENV-2181978  
 Customer : Mrs. Patricia Agnes  
 Attn. : Mrs. Patricia Agnes

Sampling Plan Ref : EI 42.003  
 Sampling Procedure : EI 22.009  
 Sampled By : Submitted by Client

Job Number	Customer Sample ID	Sample Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Interval Analysis	Location Coordinate
2181978-1	0A	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-2	0B	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-3	0C	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-4	0D	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-5	20A	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-6	20B	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-7	20C	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-8	20D	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-9	35A	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-10	35B	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-11	35C	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-
2181978-12	35D	Water	25/09/2018	-	25/09/2018	14:30	26 Sep - 05 Oct	-

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978

Date : October 09, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes

Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID. : **0A**

Location Coodinate : -

Date Sampled : 25/09/2018

Time Sampled : -

Laboratory Sample ID. : 2181978-1

Date Received : 25/09/2018

Time Received : 14:30

Sample Matrix : Water

Sample Container : Plastic Bottle

Interval Analysis : 26 Sep - 05 Oct

Sample Volume : 15 mL

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.8 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978

Date : October 09, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes

Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID. : **0B**

Location Coodinate : -

Date Sampled : 25/09/2018

Time Sampled : -

Laboratory Sample ID. : 2181978-2

Date Received : 25/09/2018

Time Received : 14:30

Sample Matrix : Water

Sample Container : Plastic Bottle

Interval Analysis : 26 Sep - 05 Oct

Sample Volume : 15 mL

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.9 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978

Date : October 09, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes

Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID. : **0C**

Location Coordinate : -

Date Sampled : 25/09/2018

Time Sampled : -

Laboratory Sample ID. : 2181978-3

Date Received : 25/09/2018

Time Received : 14:30

Sample Matrix : Water

Interval Analysis : 26 Sep - 05 Oct

Sample Container : Plastic Bottle

Sample Volume : 15 mL

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	11.05 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

*\* As Per Request*

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978

Date : October 09, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes

Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID. : **0D**

Location Coordinate : -

Date Sampled : 25/09/2018

Time Sampled : -

Laboratory Sample ID. : 2181978-4

Date Received : 25/09/2018

Time Received : 14:30

Sample Matrix : Water

Interval Analysis : 26 Sep - 05 Oct

Sample Container : Plastic Bottle

Sample Volume : 15 mL

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	11.1 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

*\* As Per Request*

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978 Date : October 09, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID.	: 20A	Laboratory Sample ID.	: 2181978-5
Location Coordinate	: -	Date Received	: 25/09/2018
Date Sampled	: 25/09/2018	Time Received	: 14:30
Time Sampled	: -	Interval Analysis	: 26 Sep - 05 Oct
Sample Matrix	: Water	Sample Volume	: 15 mL
Sample Container	: Plastic Bottle		

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.5 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978 Date : October 09, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID.	: 20B	Laboratory Sample ID.	: 2181978-6
Location Coordinate	: -	Date Received	: 25/09/2018
Date Sampled	: 25/09/2018	Time Received	: 14:30
Time Sampled	: -	Interval Analysis	: 26 Sep - 05 Oct
Sample Matrix	: Water	Sample Volume	: 15 mL
Sample Container	: Plastic Bottle		

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.47 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978			Date : October 09, 2018		
Customer : Mrs. Patricia Agnes			Attention: Mrs. Patricia Agnes		
Customer Sample ID.		: 20C		Laboratory Sample ID. : 2181978-7	
Location Coodinate		: -		Date Received : 25/09/2018	
Date Sampled		: 25/09/2018		Time Received : 14:30	
Time Sampled		: -		Interval Analysis : 26 Sep - 05 Oct	
Sample Matrix		: Water		Sample Volume : 15 mL	
Sample Container		: Plastic Bottle			
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.08 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978			Date : October 09, 2018		
Customer : Mrs. Patricia Agnes			Attention: Mrs. Patricia Agnes		
Customer Sample ID.		: 20D		Laboratory Sample ID. : 2181978-8	
Location Coodinate		: -		Date Received : 25/09/2018	
Date Sampled		: 25/09/2018		Time Received : 14:30	
Time Sampled		: -		Interval Analysis : 26 Sep - 05 Oct	
Sample Matrix		: Water		Sample Volume : 15 mL	
Sample Container		: Plastic Bottle			
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	11.4 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978			Date : October 09, 2018		
Customer : Mrs. Patricia Agnes			Attention: Mrs. Patricia Agnes		
Customer Sample ID.		: 35A		Laboratory Sample ID. : 2181978-9	
Location Coodinate		: -		Date Received : 25/09/2018	
Date Sampled		: 25/09/2018		Time Received : 14:30	
Time Sampled		: -		Interval Analysis : 26 Sep - 05 Oct	
Sample Matrix		: Water		Sample Volume : 15 mL	
Sample Container		: Plastic Bottle			
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.15 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2181978			Date : October 09, 2018		
Customer : Mrs. Patricia Agnes			Attention: Mrs. Patricia Agnes		
Customer Sample ID.		: 35B		Laboratory Sample ID. : 2181978-10	
Location Coodinate		: -		Date Received : 25/09/2018	
Date Sampled		: 25/09/2018		Time Received : 14:30	
Time Sampled		: -		Interval Analysis : 26 Sep - 05 Oct	
Sample Matrix		: Water		Sample Volume : 15 mL	
Sample Container		: Plastic Bottle			
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.9 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request



# ANALYTICAL REPORT

JOB NUMBER : ENV-  
2182054  
Date : October 18, 2018

Customer:

**Mrs. Patricia Agnes**

Jl. Gebang Putih No. 40, Sukolilo, Surabaya

***Attention : Mrs. Patricia Agnes***

---

Signature

Name : Abdul Majid

Title : Technical Manager

## SAMPLE INFORMATION

Date : October 18, 2018

Job Number : ENV-2182054  
 Customer : Mrs. Patricia Agnes  
 Attn. : Mrs. Patricia Agnes

Sampling Plan Ref : EI 42.003  
 Sampling Procedure : EI 22.009  
 Sampled By : Submitted by Client

								Location Coordinate
Job Number	Customer Interval Sample ID	Sample Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Analysis	
2182054-1	0A	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-2	0B	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-3	0C	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-4	0D	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-5	20A	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-6	20B	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-7	20C	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-8	20D	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-9	35A	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-10	35B	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-11	35C	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-
2182054-12	35D	Water	03/10/2018	-	04/10/2018	09:20	05 - 16 Oct	-

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054 Date : October 18, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID.	: <b>0A</b>	Laboratory Sample ID.	: 2182054-1
Location Coodinate	: -	Date Received	: 04/10/2018
Date Sampled	: 03/10/2018	Time Received	: 09:20
Time Sampled	: -		
Sample Matrix	: Water	Interval Analysis	: 05 - 16 Oct
Sample Container	: Glass Bottle	Sample Volume	: 10 mL

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.7 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054 Date : October 18, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID.	: <b>0B</b>	Laboratory Sample ID.	: 2182054-2
Location Coodinate	: -	Date Received	: 04/10/2018
Date Sampled	: 03/10/2018	Time Received	: 09:20
Time Sampled	: -		
Sample Matrix	: Water	Interval Analysis	: 05 - 16 Oct
Sample Container	: Glass Bottle	Sample Volume	: 10 mL

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	7.79 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054			Date : October 18, 2018		
Customer : Mrs. Patricia Agnes			Attention: Mrs. Patricia Agnes		
Customer Sample ID. : <b>0C</b>		Laboratory Sample ID. : 2182054-3			
Location Coodinate : -		Date Received : 04/10/2018			
Date Sampled : 03/10/2018		Time Received : 09:20			
Time Sampled : -		Interval Analysis : 05 - 16 Oct			
Sample Matrix : Water		Sample Volume : 10 mL			
Sample Container : Glass Bottle					
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	8.36 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054			Date : October 18, 2018		
Customer : Mrs. Patricia Agnes			Attention: Mrs. Patricia Agnes		
Customer Sample ID. : <b>0D</b>		Laboratory Sample ID. : 2182054-4			
Location Coodinate : -		Date Received : 04/10/2018			
Date Sampled : 03/10/2018		Time Received : 09:20			
Time Sampled : -		Interval Analysis : 05 - 16 Oct			
Sample Matrix : Water		Sample Volume : 10 mL			
Sample Container : Glass Bottle					
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	9.16 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054 Date : October 18, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID.	: 20A	Laboratory Sample ID. :	2182054-5
Location Coodinate	: -	Date Received	: 04/10/2018
Date Sampled	: 03/10/2018	Time Received	: 09:20
Time Sampled	: -	Interval Analysis	: 05 - 16 Oct
Sample Matrix	: Water	Sample Volume	: 10 mL
Sample Container	: Glass Bottle		

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.3 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054 Date : October 18, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID.	: 20B	Laboratory Sample ID. :	2182054-6
Location Coodinate	: -	Date Received	: 04/10/2018
Date Sampled	: 03/10/2018	Time Received	: 09:20
Time Sampled	: -	Interval Analysis	: 05 - 16 Oct
Sample Matrix	: Water	Sample Volume	: 10 mL
Sample Container	: Glass Bottle		

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	8.63 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054			Date : October 18, 2018		
Customer : Mrs. Patricia Agnes			Attention: Mrs. Patricia Agnes		
Customer Sample ID. : <b>20C</b>		Laboratory Sample ID. : 2182054-7			
Location Coodinate : -		Date Received : 04/10/2018			
Date Sampled : 03/10/2018		Time Received : 09:20			
Time Sampled : -		Interval Analysis : 05 - 16 Oct			
Sample Matrix : Water		Sample Volume : 10 mL			
Sample Container : Glass Bottle					
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	8.26 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054			Date : October 18, 2018		
Customer : Mrs. Patricia Agnes			Attention: Mrs. Patricia Agnes		
Customer Sample ID. : <b>20D</b>		Laboratory Sample ID. : 2182054-8			
Location Coodinate : -		Date Received : 04/10/2018			
Date Sampled : 03/10/2018		Time Received : 09:20			
Time Sampled : -		Interval Analysis : 05 - 16 Oct			
Sample Matrix : Water		Sample Volume : 10 mL			
Sample Container : Glass Bottle					
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	9.4 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054		Date : October 18, 2018			
Customer : Mrs. Patricia Agnes		Attention: Mrs. Patricia Agnes			
Customer Sample ID. : <b>35A</b>		Location Coodinate : -		Laboratory Sample ID. : 2182054-9	
Date Sampled : 03/10/2018		Time Sampled : -		Date Received : 04/10/2018	
				Time Received : 09:20	
Sample Matrix : Water		Sample Container : Glass Bottle		Interval Analysis : 05 - 16 Oct	
				Sample Volume : 10 mL	
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	10.06 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054		Date : October 18, 2018			
Customer : Mrs. Patricia Agnes		Attention: Mrs. Patricia Agnes			
Customer Sample ID. : <b>35B</b>		Location Coodinate : -		Laboratory Sample ID. : 2182054-10	
Date Sampled : 03/10/2018		Time Sampled : -		Date Received : 04/10/2018	
				Time Received : 09:20	
Sample Matrix : Water		Sample Container : Glass Bottle		Interval Analysis : 05 - 16 Oct	
				Sample Volume : 10 mL	
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	8.09 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054 Date : October 18, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID.	: 35C	Laboratory Sample ID. : 2182054-11
Location Coodinate	: -	Date Received : 04/10/2018
Date Sampled	: 03/10/2018	Time Received : 09:20
Time Sampled	: -	
Sample Matrix	: Water	Interval Analysis : 05 - 16 Oct
Sample Container	: Glass Bottle	Sample Volume : 10 mL

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	8.38 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

## LABORATORY TEST RESULT

JOB NUMBER: ENV-2182054 Date : October 18, 2018

Customer : Mrs. Patricia Agnes Attention: Mrs. Patricia Agnes

Customer Sample ID.	: 35D	Laboratory Sample ID. : 2182054-12
Location Coodinate	: -	Date Received : 04/10/2018
Date Sampled	: 03/10/2018	Time Received : 09:20
Time Sampled	: -	
Sample Matrix	: Water	Interval Analysis : 05 - 16 Oct
Sample Container	: Glass Bottle	Sample Volume : 10 mL

NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT *	UNIT	METHOD
1	<b>Chemical Properties (Inorganic)</b> Cadmium, Cd	9.26 mg/L	-		SNI 6989.16-2009

\* As Per Request

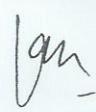
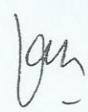
## BIOGRAFI PENULIS



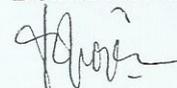
Penulis memiliki nama lengkap Patricia Agnes Hutabarat. Dilahirkan di Tarutung pada tanggal 1 Januari 1997 dan merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan dasar pada tahun 2002-2008 di SD Sw. HKBP Pearaja Tarutung, kemudian dilanjutkan ke SMP Negeri 3 Tarutung pada tahun 2008-2011, hingga pendidikan tingkat atas yang ditempuh di SMA Sw. RK Budi Mulia Pematangsiantar pada tahun 2011-2014. Pada tahun 2014, Penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Lingkungan FTSLK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama masa perkuliahan penulis aktif di organisasi kampus. Penulis pernah aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) 2015/2016 sebagai staff Konservasi Alam, Kelompok Pemerhati dan Pecinta Lingkungan selanjutnya menjadi staff ahli Konservasi Alam, Kelompok Pemerhati dan Pecinta Lingkungan pada tahun 2016/2017 dan Kepala Divisi Doa Pemerhati dan Konseling Persekutuan Mahasiswa Kristen 2017/2018. Penulis juga sering mengikuti berbagai jenis pelatihan manajerial dan keilmiah serta berkesempatan menjadi asisten laboratorium Remediasi Badan Air dan Pesisir. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen Wawasan Teknologi dan Komunikasi Ilmiah. Prestasi yang pernah ditorehkan penulis selama perkuliahan adalah salah satu PKM terdani. Penulis juga pernah melakukan kerja praktik di PT Pupuk Kalimantan Timur, Bontang. Penulis dapat dihubungi via email [patriciagnesh@gmail.com](mailto:patriciagnesh@gmail.com).

**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Patricia Agnes Hubabarrat  
 NRP : 032114410000097  
 Judul Tugas Akhir : Uji Kematangan konsorsium *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* untuk menenual logam Berat Cadmium (II)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	8 Maret 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variabel tidak usah yang 100:0 dan 0:100,</li> <li>- Coba propagasi, tidak harus yang steril, pakai 1 salinitas dulu</li> <li>- Pakai CdSO<sub>4</sub> tidak masalah, tapi apakah sama kelabuatannya dan tidak toksik untuk alga (cari jurnal)</li> </ul>	
2.	22 Maret 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untuk nutrisi coba gunakan walne</li> <li>- Cek pH secara berkala 7-9.</li> <li>- Coba pakai media air laut buatan, karena salinitas sangat berpengaruh (32-35 permil)</li> <li>- Inokulum 10 persen dari volume untuk 5 kultur lab</li> <li>- Klorofil memiliki masa development jadi tidak sama dengan jumlah alga</li> <li>- Perkembangan : 20-21 jam</li> <li>- cari konversi OD ke jumlah sel</li> <li>- Inokulum pematangan dalam fase eksponensial → kultur</li> <li>- RFT = 10:90, kondisi sama: OP bimurn, butuh salinometer dan haemocytometer</li> </ul>	

Surabaya, 03 Januari 2018  
 Dosen Pembimbing



Biady Wijant Tongah S.T., MT., PhP



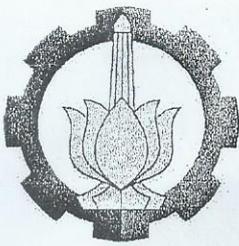
**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Patricia Agnes Hutabarat  
 NRP : 03211440000097  
 Judul Tugas Akhir : Uji kemampuan konsorsium *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina Platensis* untuk meremoual logam Berat Cadmium (II)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
3	26 Maret 2018	<p>Penghitungan pakai : - Haemacytometer            - OD            - klorofil, grafiknya digabungin</p> <p>Percobaan yg gagal dimasukkan laporan rasio, nutrisi, hasil Propagasi pakai 2 kali, satunya buat stok Variasi subkultur yang Opet, tetap dimasukkan.</p>	<i>[Signature]</i>
4	7 April 2018	<p>- klorofil tidak perlu diulang dan utama tidak usah pake klorofil (cari <del>klorofil</del> literatur)            - Parameter removal hubungkan dengan jumlah sel            - AAS larutan stok cek di awal            - konsentrasi berapa yang terserap sampai mati alganya            - Sampel akhir tidak harus sampai removal di Seminar progress tidak masalah, asal ada kesimpulan sementara</p>	<i>[Signature]</i>
5	29 Oktober 2018	<p>- Uji duplo segera.            - Perbaiki bahas hasil removal            - cek ulang keseragaman variabel</p>	<i>[Signature]</i>
6	07 Nov. 2018	<p>- Tambahkan dasar teori tentang removal yang berbeda            - Buat analisis statistik.</p>	<i>[Signature]</i>

Surabaya, .....  
 Dosen Pembimbing

*[Signature]*



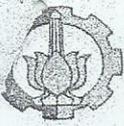
**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Patricia Agnes Hotabarat  
NRP : 03211490000094  
Judul :

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
7.	12 Nov 2018	<ul style="list-style-type: none"><li>- Hubungkan hasil dari analisis setiap parameter</li><li>- Perbaiki margin, daftar isi, Format sesuai pedoman TA</li><li>- Siapkan powerpoint.</li><li>- Setiap hasil harus ada alasan dasar teori</li></ul>	
8.	15 Des 2018	<ul style="list-style-type: none"><li>- Asistensi hasil revisi</li><li>- Perbaiki grafik hubungan parameter</li></ul>	
9.	3 Jan 2019	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cek Barang Format TA</li><li>- Form FTA 03, FTA-04. dan KTA 02</li></ul>	

Surabaya, 3 Januari 2019  
Dosen Pembimbing

Bibek Wijang Tangku, S.T., M.T., Ph.D



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

TA-S1-TL-03

TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Genap 2017/2018

No. Revisi: 02

FORMULIR TUGAS AKHIR PTA-03  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Seminar Proposal Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 29 Januari 2018.

Nilai TOEFL 513

Pukul : 08.00-09.30 WIB

Ruang : 102

Judul : Uji Kemampuan Konsorsium Alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina sp* untuk Meremoval Logam Berat Kadmium (II)

Nama : PATRICIA A HUTABARAT

Tanda Tangan

NRP. : 03211440000097

Topik : Penelitian

*Patricia*

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Proposal Tugas Akhir
	<p><i>- Pedagogis / penerapan di perkuliahan</i></p> <p><i>- penerapan sumber pustaka → harus sesuai standar / format TA</i></p> <p><i>- Metode seedig &amp; animasi</i></p> <p><i>- Sumber algae yg digunakan ?</i></p> <p><i>- Perbandingan rasio C : N : P</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Jain</i> <i>12/02/2018</i></p>

Dosen Pembimbing menyerahkan formulir PTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan :

1. Proposal Tugas Akhir diterima
2. Seminar Tugas Akhir harus diulang
3. Proposal Tugas Akhir ditolak/ganti judul

Dosen Pembimbing *Jain*



KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Gasal 2018/2019

No. Revisi: 01

**FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02**  
**Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing**  
**Seminar Kemajuan Tugas Akhir**

Hari, tanggal Jumat 30-Nov-18

Nilai TOEFL 513

Pukul :

Lokasi Ruang Sidang

Judul Uji Kemampuan Konsorsium Alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* untuk Meremoval Logam Berat Kadmium (II)

Nama Patricia Agnes Hutabarat

Tanda Tangan

NRP. 32114410000097

*Patricia*

Topik Penelitian

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Margin daftar isi / tabel / gambar → diperbaiki.</li> <li>- Halaman / nomor halaman benar → letaknya diperbaiki</li> <li>- tidak boleh ada hal. kosong kec. akhir buku</li> <li>- penggunaan titik &amp; koma dan ayakan → sesuai bhs Indonesia</li> <li>- Reduksional cek di draft laporan</li> </ul> <p style="text-align: right;"><i>[Signature]</i></p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

*[Signature]*  
 (Biehy Wijant T )



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR  
Periode: Gasal 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat / 11 Januari 2019  
Pukul : 13.00 WIB  
Lokasi : R. 101  
Judul :

Nilai TOEFL 513

Nama : Patricia Agnes Hutabarat  
NRP. : 032114410000097  
Topik :

Tanda Tangan

*Patricia Agnes*

: Uji kemampuan konsorsium Alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dalam meremoval logam berat (cadmium(II))  
*Patricia Agnes*

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	<p>Pertinjau sesuai arahan / masukan dlm draft TA dan BA ujian lisan terakhir</p> <p><i>[Signature]</i> 22/01/2019</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Nama Dosen Pembimbing

*[Signature]*  
Bibek Wigati Tangahy, S.T., M.T., Ph.D