



TUGAS AKHIR - SB141510

**ANALISA KERUSAKAN JARINGAN AKAR  
DAN PERTUMBUHAN LAMUN *Thalassia  
hemprichii* YANG TERPAPAR LOGAM  
BERAT KADMIUM (Cd)**

**WAHYU NOVIARINI  
1511100075**

**Dosen Pembimbing  
Dini Ermavitalini, S.Si., M.Si.**

**JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015**



**TUGAS AKHIR - SB141510**

**ANALISA KERUSAKAN JARINGAN AKAR  
DAN PERTUMBUHAN LAMUN *Thalassia  
hemprichii* YANG TERPAPAR LOGAM  
BERAT KADMIUM (Cd)**

**WAHYU NOVIARINI  
1511100075**

**Dosen Pembimbing  
Dini Ermavitalini, S.Si., M.Si.**

**JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015**



FINAL PROJECT - SB141510

**ANALYSIS OF ROOT TISSUE DAMAGE AND  
GROWTH OF SEAGRASS *Thalassia  
hemprichii* EXPOSED TO HEAVY METAL  
CADMIUM (Cd)**

**WAHYU NOVIARINI  
1511100075**

**Advisor  
Dini Ermavitalini, S.Si., M.Si.**

**DEPARTEMENT OF BIOLOGY  
FACULTY OF MATHEMATIC AND NATURAL SCIENCES  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA KERUSAKAN JARINGAN AKAR DAN  
PERTUMBUHAN LAMUN *Thalassia hemprichii* YANG  
TERPAPAR LOGAM BERAT KADMIUM (Cd)**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Sains  
pada  
Jurusan S-1 Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**WAHYU NOVIARINI  
NRP. 1511 100 075**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dini Ermavitalini, S.Si., M.Si.  (Pembimbing I)

Surabaya, 29 Juni 2015

Menggelahui,  
Ketua Jurusan Biologi

  
Diterima oleh Maya Shovitri, M.Si  
NRP. 150909071998032001

# **ANALISA KERUSAKAN JARINGAN AKAR DAN PERTUMBUHAN LAMUN *Thalassia hemprichii* YANG TERPAPAR LOGAM BERAT KADMIUM (Cd)**

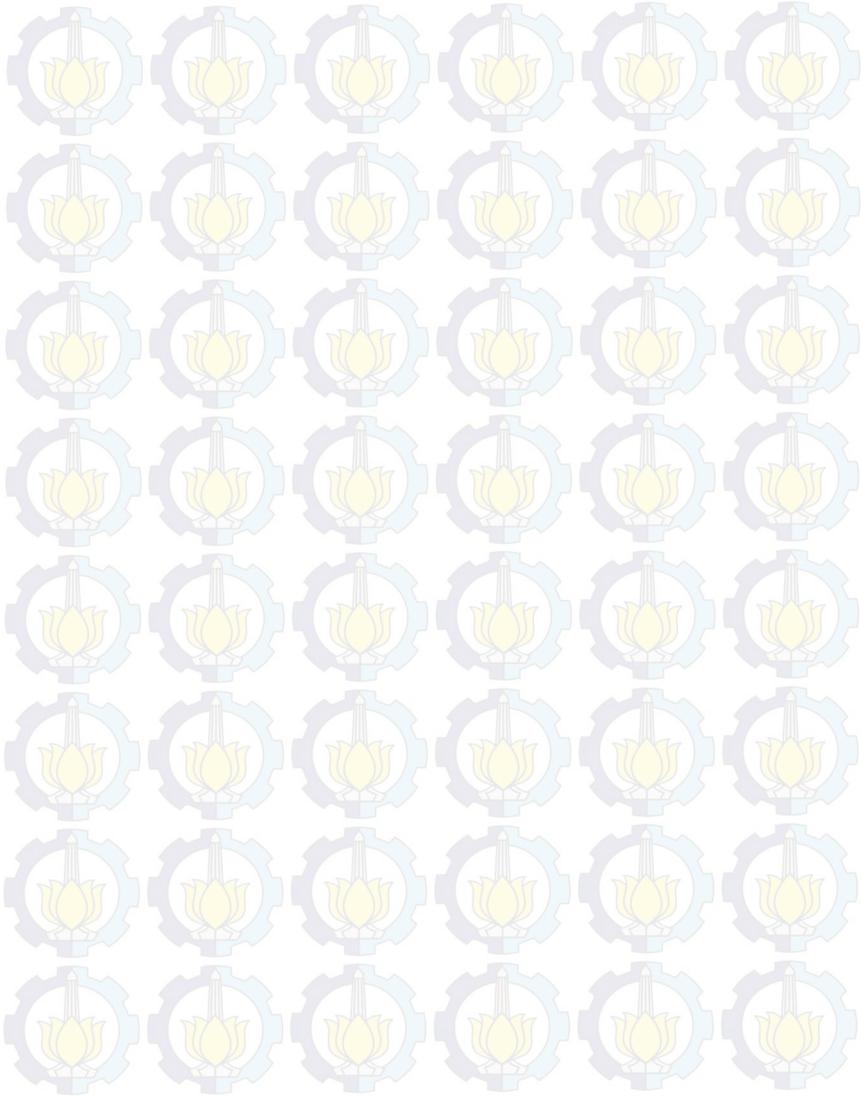
**Nama Mahasiswa** : Wahyu Noviarini  
**NRP** : 1511 100 075  
**Jurusan** : Biologi  
**Dosen Pembimbing** : Dini Ermavitalini, S.Si., M.Si.

## *Abstrak*

*Salah satu logam berat berbahaya yang berpotensi mencemari laut adalah kadmium. Thalassia hemprichii merupakan lamun yang dapat tumbuh dengan tingkat toleransi yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh logam berat kadmium (Cd) terhadap kerusakan jaringan akar dan pertumbuhan T. hemprichii yang dikulturkan secara in-vitro.*

*Penelitian ini dilakukan selama 30 hari dengan 4 perlakuan perbedaan konsentrasi Cd yaitu 0 ppm, 0,01 ppm, 0,05 ppm dan 0,1 ppm. Parameter yang diukur adalah panjang akar, jumlah tunas baru, tinggi tunas baru, warna akar dan warna daun. Hasil dari penelitian ini yaitu pertumbuhan T. hemprichii terganggu pada parameter warna daun, jumlah tunas baru, panjang akar dan tinggi tunas baru dengan paparan Cd 0,01 ppm dan 0,05 ppm. Kerusakan jaringan akar hanya ditemukan pada Cd dengan konsentrasi 0,1 ppm. Kerusakan tersebut berupa degradasi pada jaringan pengangkut.*

*Kata kunci: anatomi akar, in-vitro, kadmium, logam berat, Thalassia hemprichii*



# **ANALYSIS OF ROOT TISSUE DAMAGE AND GROWTH OF SEAGRASS *Thalassia hemprichii* EXPOSED TO HEAVY METAL CADMIUM (Cd)**

**Student Name** : Wahyu Noviarini  
**NRP** : 1511 100 075  
**Departemen** : Biology  
**Dosen Pembimbing** : Dini Ermavitalini, S.Si., M.Si.

## **Abstract**

One of the potentially harmful heavy metals pollute the ocean is cadmium. *T. hemprichii* a seagrass that can grow with a high degree of tolerance. This study aimed to examine the effect of the heavy metal cadmium (Cd) of the root tissue damage and growth of *T. hemprichii* cultured in vitro.

This research was carried out for 30 days with 4 treatments difference in Cd concentration are 0 ppm, 0.01 ppm, 0.05 ppm and 0.1 ppm. Parameters measured were root length, number of new shoots, height of new shoots, roots color and leaf color. Results from this research that the growth of *T. hemprichii* impaired in leaf color parameter, the number of new shoots, root length and height of new shoots with exposure to Cd 0.01 ppm and 0.05 ppm. Root tissue damage was found only in a concentration of 0.1 ppm Cd, damage in the form of degradation in the transport tissue.

**Keyword:** cadmium, in-vitro, heavy metal, root anatomy, *Thalassia hemprichi*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, inayah, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan tugas akhir yang berjudul **Analisa Kerusakan Jaringan Akar dan Pertumbuhan Lamun terhadap *T. hemprichii* yang Terpapar Logam Berat Kadmium (Cd)** yang bentuk maupun isinya sangat sederhana. Penyusunan tugas akhir ini merupakan suatu syarat untuk mengikuti mata kuliah di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dini Ermavitalini, S.Si.,M.Si. selaku pemimbing serta tim penguji, Kristanti Indah Purwani, S.Si.,M.Si. dan Indah Trisnawati D. T., M.Si., Ph.D. Penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada Bapak dan Ibu, serta teman-teman atas doa dan semangatnya. Penyusunan tugas akhir ini juga tidak lepas dari bantuan dan dukungan teman-teman seperjuangan angkatan 2011 dan seluruh pihak yang telah membantu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan karena pengalaman yang dimiliki sangat kurang, namun besar harapan proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 29 Juni 2015

Wahyu Noviarini

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pencemaran .....	5
2.2 Logam Berat.....	5
2.2.1 Kadmium (Cd) .....	5
2.3 Air Laut Buatan.....	8
2.4 Lamun.....	9
2.4.1 <i>T. hemprichii</i> .....	10
2.5 Morfologi dan Anatomi Akar Lamun.....	11
2.6 Kerusakan Akar.....	12
2.7 Perubahan Warna Daun.....	14
2.8 Perubahan Warna Akar .....	15
<b>BAB III METODOLOGI</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Kegiatan .....	17
3.2 Metode yang Digunakan	
3.2.1 Pengambilan Bibit <i>T. hemprichii</i> .....	17

3.2.2 Preparasi Akuarium.....	17
3.2.3 Pembuatan Larutan Standart Kadmium (Cd) .....	18
3.2.4 Pengamatan Pertumbuhan .....	18
3.2.5 Pengamatan Kerusakan Akar .....	19
3.2.5.1 Fiksasi.....	19
3.2.5.2 Pencucian dan Dehidrasi .....	19
3.2.5.3 Infiltrasi .....	19
3.2.5.4 Penyelubungan .....	20
3.2.5.5 Pengirisan dan Perekatan.....	20
3.2.5.6 Pewarnaan.....	20
3.3 Rancangan Percobaan.....	21
3.4 Analisa Data .....	23
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b>	
4.1 Efek Cekaman Kadmium terhadap Warna Daun.....	25
4.2 Efek Cekaman Kadmium terhadap Jumlah Daun....	28
4.3 Efek Cekaman Kadmium terhadap Jumlah Tunas Baru.....	30
4.4 Efek Cekaman Kadmium terhadap Tinggi Tunas Baru.....	31
4.5 Efek Cekaman Kadmium terhadap Warna Akar.....	32
4.6 Efek Cekaman Kadmium terhadap Panjang Akar...	33
4.7 Efek Cekaman Kadmium terhadap Kerusakan Anatomi Akar.....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>51</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.4.1.1	Morfologi <i>T. hemprichii</i> .....	10
Gambar 2.4.1.2	Reproduksi <i>T. hemprichii</i> .....	11
Gambar 2.6.1	Struktur Anatomi Akar Lamun .....	12
Gambar 2.6.2	Anatomi Akar Tembakau dengan Cekaman Cd.....	13
Gambar 2.6.3	Anatomi Akar <i>Neptunia olearaceae</i> dengan Cekaman Limbah Cair Amoniak.....	14
Gambar 2.7	Perbandingan Warna Daun <i>Nicotiana tabacum</i> L. pada Cekaman Cd Konsentrasi 0-300 $\mu$ M.....	14
Gambar 4.1.1	Kondisi Warna Daun <i>T. hemprichii</i> pada Awal Penanaman.....	25
Gambar 4.1.2	Kondisi Warna Daun <i>T. hemprichii</i> pada Hari ke-15.....	25
Gambar 4.1.3	Warna Daun <i>T. hemprichii</i> pada Hari ke-30.....	26

Gambar 4.1.4	Struktur Klorofil.....	27
Gambar 4.3	Tunas Baru <i>T. hemprichii</i> .....	30
Gambar 4.5	Kondisi Warna Akar <i>T. hemprichii</i> setelah Dipapar Kadmium Selama 30 hari.....	32
Gambar 4.6	Diagram Panjang Akar <i>T. hemprichii</i> .....	34
Gambar 4.7.1	Anatomi Akar <i>T. hemprichii</i> .....	35
Gambar 4.7.2	Anatomi Akar <i>T. hemprichii</i> ...	36
Gambar 4.7.3	Anatomi Akar <i>T. hemprichii</i> yang Mengalami Kerusakan (0,1 ppm).....	37
Gambar 4.7.4	Anatomi Akar <i>T. hemprichii</i> .....	38
Gambar 4.7.5	Anatomi Akar <i>T. hemprichii</i> Kontrol Alam.....	39

## DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.2.1	Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas.....	7
Tabel 2.3	Komposisi Air Laut Buatan.....	8
Tabel 3.3.1	Pengamatan Panjang Akar .....	21
Tabel 3.3.2	Pengamatan Jumlah Tunas Baru ...	22
Tabel 3.3.3	Pengamatan Tinggi Tunas Baru ....	22
Tabel 3.3.4	Pengamatan Jumlah Daun.....	22
Tabel 3.3.5	Warna Daun dan Akar.....	23

## DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1:	Hasil Uji ANOVA Jumlah Daun ...	51
Lampiran 2:	Hasil Uji ANOVA Jumlah Tunas Baru .....	54
Lampiran 3:	Hasil Uji ANOVA Tinggi Tunas Baru.....	56
Lampiran 4:	Hasil Uji ANOVA Panjang Akar.....	58
Lampiran 5:	Hasil Uji AAS Air Laut Taman Nasional Baluran.....	61
Lampiran 6:	Foto dan Keterangan.....	62
Lampiran 7:	Tabel Jumlah Daun pada Hari ke-30.....	70
Lampiran 8:	Tabel Panjang Akar <i>T. hemprichii</i> .....	72
Lampiran 9:	Tabel Pertumbuhan Tinggi Tunas Baru <i>T. hemprichii</i> .....	72

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Logam berat merupakan unsur logam yang berbahaya di permukaan bumi sehingga kontaminasi logam berat di lingkungan merupakan masalah yang serius saat ini. Salah satunya yaitu kadmium (Cd) (Palar, 2004). Logam kadmium adalah bahan yang tidak lepas dari proses industri. Logam kadmium mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam (Palar, 2004). Pada kegiatan pertambangan biasanya kadmium ditemukan dalam bijih mineral (Herman, 2006). Sumber-sumber logam berat Cd di laut, berasal dari sumber yang bersifat alami dari lapisan kulit bumi. Logam berat Cd juga dapat berasal dari aktifitas manusia, seperti limbah pasar dan limbah rumah tangga, aktivitas transportasi laut dan akitivitas perbaikan kapal laut (Nordic, 2003).

Kawasan pantai merupakan daerah yang sangat rawan terhadap pencemaran terutama daerah perkotaan karena menjadi tempat pembuangan limbah utama dari beberapa sumber buangan besar yang berasal dari dalam kota. Akibat buangan tersebut baik yang berasal dari aktivitas manusia maupun yang berasal dari kegiatan industri di sekitar pantai, secara bertahap akan mengalami sedimentasi dan mengendap ke dasar perairan (Suryani & Liong, 2003). Laut tidak mempunyai kemampuan yang besar untuk menyerap semua limbah yang dimasukkan ke dalamnya.

Perairan dangkal adalah daerah yang lebih banyak dikenal karena lebih mudah dijangkau dan merupakan daerah penangkapan ikan utama di dunia. Dalam penelitiannya (Rumahlatu, 2011), menyatakan bahwa sedimen di perairan dangkal sangat representatif dalam menggambarkan status pencemaran suatu perairan. Padahal, biota laut yang berada di perairan tidak terlepas kaitannya dengan sedimen. Apabila perairan dangkal tercemar logam berat maka akan berdampak pula bagi organisme di sekitarnya. Pengaruh logam berat tersebut

pada akhirnya akan mencapai hierarki rantai makanan tertinggi yaitu manusia. Kasus yang sangat terkenal dari keracunan logam berat terhadap manusia adalah yang terjadi di Toyama, Jepang akibat pencemaran dari kadmium (Cd) yang menyebabkan penyakit Itai-Itai. Oleh karena itu, perlu dilakukan kegiatan yang dapat mengurangi penumpukan logam berat tersebut.

Lamun adalah satu-satunya kelompok tanaman berbunga (*Angiospermae*) yang dapat tumbuh di daerah pesisir dan lingkungan laut wilayah tropis, kecuali pantai perairan kutub yang sulit ditumbuhi lamun karena tertutup banyak es. Fungsi/peranan dan manfaat padang lamun di perairan laut dangkal adalah sumber utama produktivitas primer, sumber makanan bagi organisme dalam bentuk detritus, penstabil dasar perairan dengan sistem perakarannya yang dapat menangkap sedimen dan tempat berlindung bagi biota laut (Kiswara, 2014). Salah satu jenis lamun yang banyak ditemukan di perairan tropis yaitu *T. hemprichii*. *T. hemprichii* dapat dijumpai pada berbagai substrat dan memiliki toleransi yang tinggi terhadap variasi lingkungan. Kisaran salinitas optimum untuk pertumbuhan *T. hemprichii* cukup luas yaitu 24 – 35‰ (Azkab, 2000).

Toksisitas logam berat seperti Cd secara umum menyebabkan efek negatif pada tumbuhan (Fry *et al.*, 2002). Logam Cd menghambat pertumbuhan dengan memblokir hara Ca, mengganggu ekspansi dan pembelahan sel serta gangguan fotosintesis (Kurtyka *et al.*, 2008). Translokasi Cd dilakukan melalui xilem sehingga akumulasi banyak ditemukan pada jaringan pengangkut (Liu *et al.*, 2010). Beberapa studi sebelumnya telah merumuskan berbagai mekanisme pertahanan tumbuhan antara lain: 1) pengkelatan logam berat yang dilakukan dengan produksi peptida pengkelat logam seperti fitokelatin dan metalothionein, 2) immobilisasi dan 3) kompartementalisasi ion logam dalam vakuola (Cobbet, 2000). Kemampuan *T. hemprichii* dalam menyerap kadmium dilihat dari pertumbuhan tunas, perbandingan morfologi daun dan akar serta anatomi kerusakan akar karena secara umum mekanisme penyerapan

logam berat oleh tanaman berada di sekitar akar. Menurut Amin *et al.*, (2009) 90% logam berat yang mengontaminasi lingkungan perairan akan terendap di dalam sedimen. Leiwakabessy (2005) juga melaporkan bahwa logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen. Beberapa metode telah digunakan untuk mengetahui lokalisasi logam pada jaringan tumbuhan secara mikroskopik, salah satunya dengan menggunakan metode pengirisan jaringan (Tistama *et al.*, 2012). Hingga saat ini hal tersebut masih terbatas pada tumbuhan darat dan tumbuhan air tawar. Padahal pencemaran logam berat yang terjadi di lautan juga perlu diperhatikan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian mengenai kerusakan jaringan akar dan pengaruhnya pada pertumbuhan *T. hemprichii* yang hidup di daerah pesisir akibat paparan logam berat kadmium (Cd).

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

Bagaimana pengaruh logam berat kadmium (Cd) terhadap kerusakan jaringan akar dan pertumbuhan lamun *T. hemprichii* yang dikulturkan secara *in-vitro*?

## **1.3 Batasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi pada lamun jenis *T. hemprichii* dengan tinggi 15 cm yang dipapar logam berat kadmium dan dilakukan secara *in-vitro* yang hanya diamati pertumbuhan fase vegetatif dengan menghitung jumlah tunas yang tumbuh, tinggi tunas baru, jumlah daun, mengukur panjang akar, mengamati warna daun dan warna akar serta mengamati kerusakan anatomi akar. Penelitian ini menggunakan bibit *T. hemprichii* yang diambil dari perairan Pantai Bama, Taman Nasional Baluran, Situbondo, Jawa Timur dan telah terkandung kadmium sebesar 0,0349 ppm.

#### 1.4 Tujuan

Menguji pengaruh logam berat kadmium (Cd) terhadap kerusakan jaringan akar dan pertumbuhan *T. hemprichii* yang dikulturkan secara *in-vitro*.

#### 1.5 Manfaat

Manfaat dari kegiatan penelitian ini yaitu untuk memperoleh informasi tentang pengaruh logam berat kadmium terhadap pertumbuhan dan kerusakan jaringan akar lamun *T. hemprichii* sehingga dapat menjadi data sebagai tanaman yang berpotensi untuk ditanam di lingkungan tercemar Cd sebagai absorben.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran**

Pengertian pencemaran menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar yang sangat berbahaya bagi organisme karena dapat memberikan pengaruh letal dan subletal (Suryani *et al.*, 2003).

#### **2.2 Logam Berat**

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi. Dalam kadar rendah, logam berat pada umumnya sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Beberapa jenis logam berat yang sering menimbulkan pencemaran adalah merkuri (Hg), khrom (Cr), kadmium (Cd), timbal (Pb) dan arsen (Ar). Keberadaan logam berat di lingkungan tidak dengan sendirinya dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup termasuk manusia. Logam berat tersebut dapat membahayakan apabila masuk ke dalam sistem metabolisme dalam jumlah yang melebihi ambang batas. Ambang batas untuk masing-masing logam berat dan untuk tiap jenis makhluk hidup berlainan. Masuknya logam berat ke dalam sistem metabolisme manusia dan makhluk hidup lainnya dapat secara langsung maupun tidak langsung (Moenir, 2010).

##### **2.2.1 Kadmium (Cd)**

Kadmium (Cd) adalah logam berat kebiruan yang lunak dan merupakan racun bagi tubuh manusia. Jumlah normal kadmium di tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi angka tertinggi (1700 ppm)

dijumpai pada permukaan sampel tanah yang diambil di dekat penambangan biji seng (Zn). Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia (Charlena, 2004). Konsentrasi Cd air sungai adalah jumlah kandungan zat kadmium (Cd) dalam setiap 1 mg/L air sampel yang diperoleh melalui pemeriksaan dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom yang dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui pencernaan dan menimbulkan efek terhadap kesehatan yang bersifat kronis dan akumulatif (Aripai *et al.*, 2012).

Logam kadmium adalah bahan yang tidak lepas dari proses industri. Hal ini terjadi karena banyaknya permintaan logam kadmium tersebut dari industri pelapisan, pigmen, plastik stabilizer, baterai-kadmium dan pupuk pestisida. Setiap tahunnya total logam kadmium yang digunakan industri bisa melampaui batas yang telah ditentukan sehingga meningkatkan limbah kadmium yang dibuang ke lingkungan. Logam kadmium mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam (Palar, 2004). Pada kegiatan pertambangan biasanya kadmium ditemukan dalam bijih mineral (Herman, 2006). Logam berat dapat masuk ke dalam lingkungan disebabkan beberapa sebab, antara lain: (1) gumpalan logam berat alami di dalam bumi tersingkap sehingga dapat berada di permukaan bumi, (2) pelapukan batuan yang mengandung logam berat dan selanjutnya berada di dalam tanah, (3) penggunaan bahan alami pupuk atau pembenah tanah (*soil conditioner*), (4) pembuangan sisa dan limbah industri serta sampah dari berbagai aktifitas manusia (Tejoyuwono, 2003).

Konsentrasi logam berat yang melebihi batas mutunya dapat menyebabkan keracunan terhadap tanah dan air. Berikut adalah data baku mutu logam berat menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas air dan Pengendalian Pencemaran Air yang disajikan pada tabel 2.2.1.

Tabel 2.2.1. Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

Parameter	Satuan	Kelas*				Keterangan
		I	II	III	IV	
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	Bagi Pengolahan air minum secara konvensional, $Fe \leq 5$ mg/L Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $Cu \leq 0,1$ mg/L Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $Pb \leq 0,1$ mg/L
Besi	mg/L	0,3	-	-	-	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	

Sumber : Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001.

\* Kelas air adalah peringkat kualitas air yang dinilai masih layak untuk dimanfaatkan bagi peruntukan tertentu.

- a. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum.
- b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air.
- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar.

- d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertamanan dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Tabel di atas menunjukkan bahwa Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 mengenai pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, menjelaskan bahwa konsentrasi logam berat yang bisa ditolerir dalam air dibagi atas beberapa kelas.

Logam berat secara umum masuk ke lingkungan dengan dua cara, yakni secara natural dan antropogenik (terlepas ke lingkungan dengan campur tangan manusia atau tidak alami). Kondisi alami terlepasnya logam berat di lingkungan karena adanya pelapukan sedimen akibat cuaca, erosi serta aktivitas vulkanik. Terlepasnya logam berat secara antropogenik akibat aktivitas manusia di antaranya pelapisan logam, pertambangan, peleburan, penggunaan pestisida, pupuk penyubur tanah dan lain sebagainya (Ali *et al.*, 2013).

### 2.3. Air Laut Buatan

Komposisi air laut buatan adalah sebagai berikut (Mudjiman, 2004):

Tabel 2.3 Komposisi Air Laut Buatan

Bahan	Jumlah
NaCl	20 gr
MgSO <sub>4</sub>	5,2 gr
MgCl <sub>2</sub>	4 gr
CaCl <sub>2</sub>	1,2 gr
KCl	0,8 gr
NaHCO <sub>3</sub>	2 gr
Air Tawar	1 liter

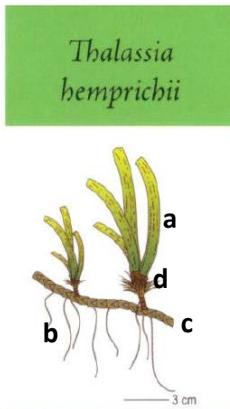
## 2.4 Lamun

Lamun (*seagrass*) merupakan satu-satunya tumbuhan berbunga (Angiospermae) berbiji satu (monokotil) yang seluruh proses kehidupannya berlangsung di lingkungan perairan laut dangkal. Lamun memiliki akar, rimpang, daun, bunga, buah serta jaringan yang dilapisi lignin sebagai penyalur bahan makanan, air dan gas (Susetiono, 2004). Beberapa ahli juga mendefinisikan lamun (*seagrass*) sebagai tumbuhan air berbunga, hidup di dalam air laut, berpembuluh, berdaun, berimpang, berakar dan berbiak dengan biji dan tunas (Bengen, 2001). Fungsi dari ekosistem lamun yaitu produksi bahan organik yang tinggi, menahan partikel terlarut, daun yang tegak lurus dengan akar menyediakan tempat tinggal bagi organisme epibiotik dan akarnya sebagai penstabil sedimen (Phillips & Milchakova, 2003).

Lamun dapat hidup di perairan dangkal agak berpasir, sering juga dijumpai pada ekosistem terumbu karang. Sama halnya dengan rerumputan di daratan, lamun juga membentuk padang yang luas dan hebat di dasar laut yang masih terjangkau oleh cahaya matahari dengan tingkat energi cahaya yang masih memadai bagi pertumbuhannya (Dahuri, 2001). Lamun dapat dijadikan sebagai bioindikator di perairan karena ia dapat mengakumulasi bahan cemar tanpa ia sendiri mati terbunuh (Astuti, 2011). Siklus hidup lamun meliputi germinasi biji, pertumbuhan dari *juvenile* menuju dewasa, fase berbunga, fase buah, penurunan dan kematian tumbuhan lamun dan propagasi secara vegetatif. Germinasi biji dan pertumbuhan dari *juvenile* menjadi dewasa membutuhkan waktu 2 bulan. Fase berbunga sekitar 2,5 bulan. Fase buah yaitu 2 bulan sedangkan propagasi vegetatif membutuhkan waktu sekitar 2 bulan. Lamun mulai mengalami penurunan metabolisme dalam waktu 3 bulan dan mengalami kematian (Bujang *et al.*, 2008).

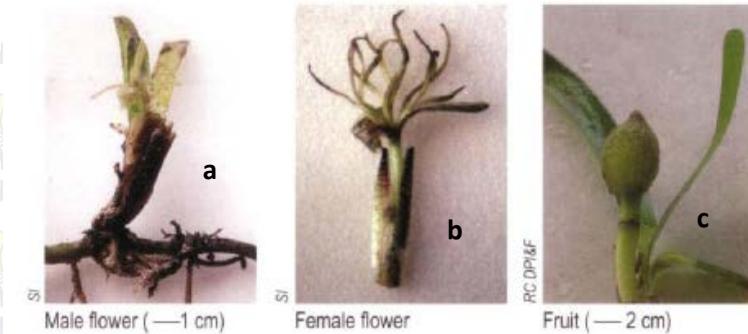
### 2.4.1 *T. hemprichii*

Lamun jenis ini memiliki ciri-ciri daun lurus sampai sedikit melengkung, tepi daun tidak menonjol dengan panjang 10 sampai 20 cm dan lebar mencapai 1 cm, seludang daun tampak keras dengan panjang berkisar 3 sampai 6 cm. Rimpang keras, menjalar, ruas-ruas rimpang mempunyai seludang (Susetiono, 2004). Dalam Dahuri (2001) disebutkan bahwa lamun jenis ini memiliki jumlah yang cukup berlimpah dan sering dominan pada padang lamun campuran. Lamun ini tumbuh pada substrat pasir berlumpur yang berbeda atau pasir medium kasar atau pecahan koral kasar. *T. hemprichii* ditemukan pada tempat yang dangkal hingga kedalaman lebih dari 20 meter. *T. hemprichii* membentuk padang lamun dan memiliki tingkat produktivitas yang tinggi (Waycott, 2004).



Gambar 2.4.1.1 Morfologi *T. hemprichii* (Waycott, 2004).

Keterangan gambar : (a: daun; b: akar; c: rhizoma;  
d: seludang daun.



Gambar 2.4.1.2 Reproduksi *T. hemprichii* (Waycott, 2004).  
Keterangan gambar : (a: bunga jantan; b: bunga betina; c: buah.

Klasifikasi dari *T. hemprichii* sebagai berikut :

Regnum : Plantae  
 Divisio : Angiospermae  
 Classis : Liliopsida  
 Ordo : Hydrocharitales  
 Famili : Hydrocharitaceae  
 Genus : *Thalassia*  
 Spesies : *Thalassia hemprichii*

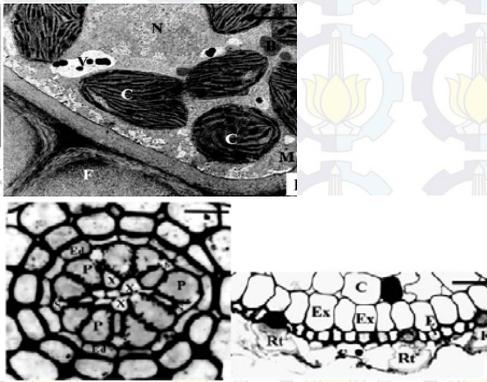
(Short, 2001).

## 2.5 Morfologi dan Anatomi Akar Lamun

Akar lamun muncul dari permukaan bawah rimpang yang umumnya disebut node. Morfologi luar akar memiliki karakteristik yang berbeda. Misalnya, *Enhalus* akarnya kasar, bercabang dengan beberapa rambut akar. Sebaliknya, *Thalassia* dan *Halophila* menghasilkan akar bercabang dengan rambut akar yang besar untuk menembus berbagai jenis substrat. Ujung akar dari semua lamun memiliki bentuk yang berbeda yang melindungi sel-sel meristematik (Larkum *et al.*, 2006).

Tipe akar dari lamun yaitu mempunyai tudung akar yang berfungsi untuk melindungi sel meristem karena sel ini berperan dalam pembelahan sel. Pada lapisan terluar dilindungi sel epidermis yang tipis. Di dalam epidermis terdapat eksodermis yang terdiri dari 1 atau banyak lapisan. Struktur sel dan pengaturan korteks bermacam-macam yang bergantung dari tipe akar (Larkum *et al.*, 2006).

## 2.6 Kerusakan Akar

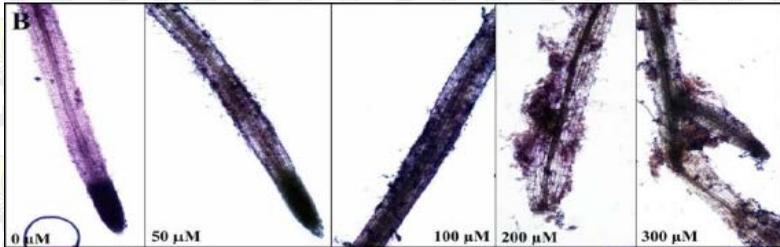


Gambar 2.6.1 Struktur Anatomi Akar Lamun (Larkum *et al.*, 2006)

Keterangan gambar : (Ex: eksodermis; x: xilem; Ed: endodermis; Rt: rambut akar; C: korteks; P: parenkim; C: Kloroplas; M: Mitokondria; N: Nukleus; F: Floem; V: Vakuola

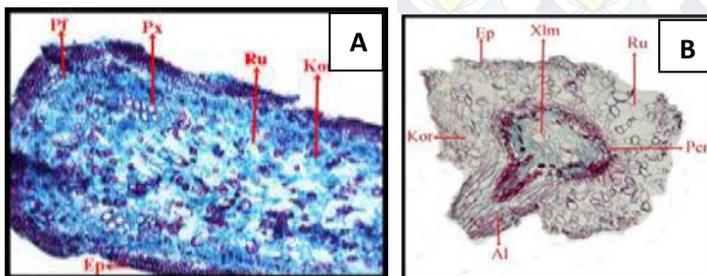
Secara umum cekaman logam berat menyebabkan kerusakan intraselular dan ekstraselular yang mengakibatkan gangguan pertumbuhan. Gangguan pertumbuhan yang ditunjukkan oleh parameter pertambahan panjang akar yang disebabkan oleh gangguan penyerapan mineral penting dan gangguan metabolisme dalam sel (Taiz & Zeiger, 2006). Secara *in vitro* kehadiran Cd mempengaruhi keseimbangan hara mikro dan makro sehingga cekaman Cd menyebabkan gangguan metabolisme yang menyebabkan menurunkan pertumbuhan akar. Translokasi Cd dilakukan melalui xilem sehingga akumulasi banyak ditemukan pada jaringan pengangkut (Liu *et al.*, 2010). Kehadiran Cd dalam akar menyebabkan degradasi sel yang mengakibatkan rusaknya sel (Gambar 2.6.1.). Rusaknya sel diakibatkan cekaman Cd yang

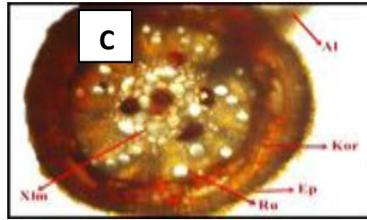
mengganggu metabolisme sel penyerapan hara esensial (Kurtyka *et al.*, 2008).



Gambar 2.6.2 Anatomi Akar Tembakau dengan Cekaman Cd (Rosidah *et al.*, 2014).

Pada penelitian Tanzerina, *et al.* (2013) yang meneliti tentang anatomi organ vegetatif *Neptunia oleraceae* pada fitoremediasi limbah cair amoniak menemukan bahwa jaringan pembuluh xilem mengalami perubahan bentuk yang lebih bulat dan kecil dibandingkan dengan xilem kontrol. Hal ini diduga karena morfologi akar umur 60 hari yang memanjang dan besar mampu menyerap polutan lebih banyak yang menyebabkan bentuk xilemnya berubah untuk menarik zat polutan. Akar perlakuan 60 hari memperlihatkan sistem pembuluh xilem yang sangat sedikit jumlahnya dibandingkan dengan sistem pembuluh xilem pada kontrol.





Gambar 2.6.3 Anatomi Akar *N. olearaceae* dengan Cekaman Limbah Cair Amoniak (Tanzerina *et al.*, 2013).

Keterangan gambar : a : akar umur 7 hari ; b : akar umur 60 hari ; c : akar kontrol umur 60 hari (Ep: Epidermis; Pf : Proto floem; Px : Proto xilem; Kor : Korteks; Ru : Ruang udara; Al : Akar lateral; Per : Perisikel; End : Endodermis.

## 2.7 Perubahan Warna Daun

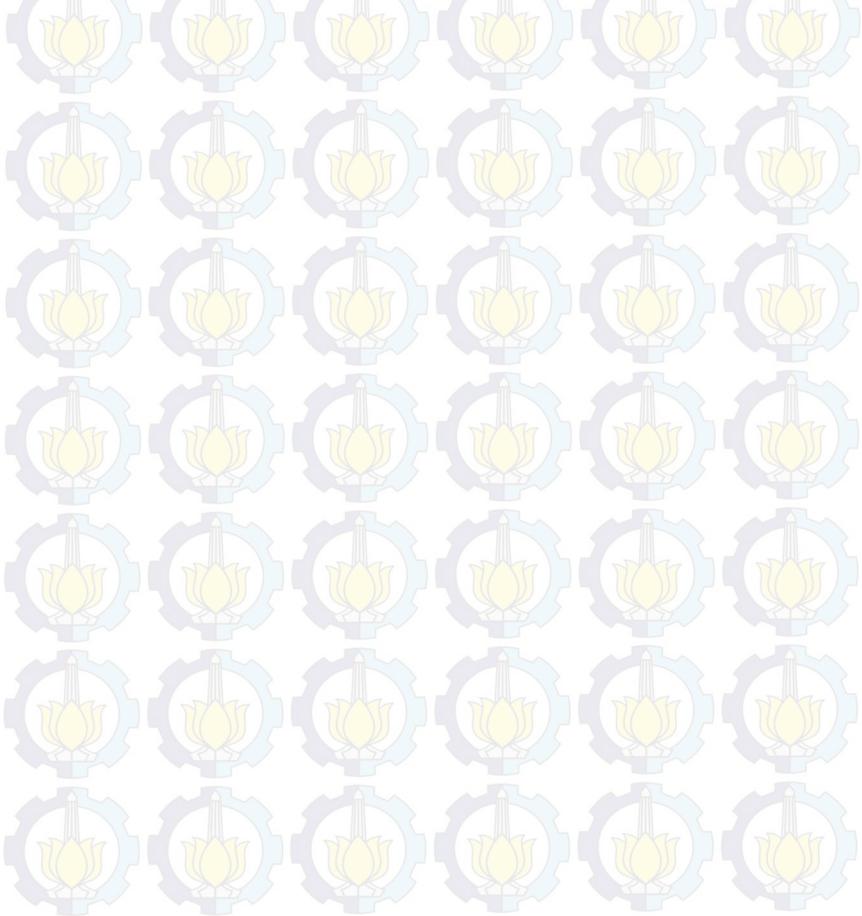
Cekaman Cd menunjukkan gejala klorosis postif yang ditemukan pada sampel yang terpapar logam pada konsentrasi Cd yang tinggi. Secara umum klorosis disebabkan oleh berkurangnya mineral yang dibutuhkan untuk produksi klorofil seperti Fe, Mg dan N akibat terganggunya metabolisme internal maupun cekaman eksternal (Rosidah *et al.*, 2014). Fitoksisitas Cd dapat menyebabkan klorosis, nekrosis, layu serta gangguan fotosintesis dan tranpirasi sehingga menghambat pertumbuhan (Maier *et al.*, 2003).



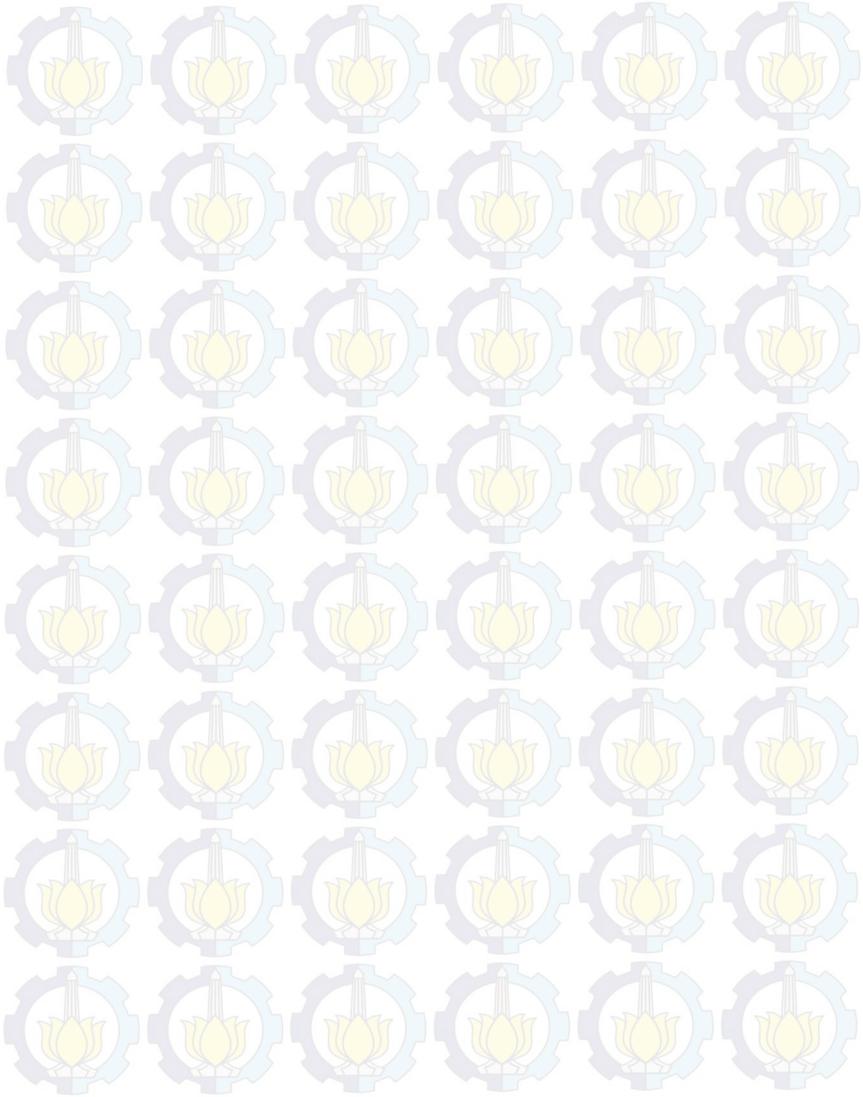
Gambar 2.7 Perbandingan Warna Daun *Nicotiana tabacum* L. pada Cekaman Cd Konsentrasi 0-300  $\mu\text{M}$  (Rosidah *et al.*, 2014).

## 2.8 Perubahan Warna Akar

Hasil penelitian (Indrasti *et al.*, 2006) penyerapan logam Cd oleh eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) menunjukkan bahwa perubahan fisik eceng gondok terjadi dengan cepat. Pada konsentrasi 1 ppm pada hari ke-3 daun mulai berwarna kuning. Akar tidak tumbuh dengan baik, berwarna ungu kecoklatan dengan panjang 3-7 cm. Panjang akar normal yaitu 7-15 cm.



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Waktu dan Tempat Kegiatan**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2014 - Februari 2015 berlokasi di Laboratorium Zoologi dan Botani Jurusan Biologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. *T. hemprichii* yang akan dikulturkan diambil dari Taman Nasional Baluran, Situbondo, Jawa Timur.

### **3.2 Metode yang Digunakan**

#### **3.2.1 Pengambilan Bibit *T. hemprichii***

*T. hemprichii* diambil dari Taman Nasional Baluran Situbondo. Sampel lamun *T. hemprichii* diambil menggunakan sekop dan dimasukkan ke dalam *cool box* yang berisi air laut dan sedimen. Sampel lamun ini dikulturkan secara *in-vitro* selama 30 hari dengan paparan logam berat kadmium. Selain itu, beberapa sampel diambil dan langsung diamati jaringan akarnya menggunakan metode parafin yang digunakan sebagai pembanding dengan hasil yang dikulturkan. Pengambilan sampel lamun ini juga disertai dengan pengambilan sampel air laut untuk diukur salinitas menggunakan *hand-refraktometer* dan kandungan kadmiumnya menggunakan AAS. Selain itu, dilakukan juga pengukuran pH menggunakan kertas pH.

#### **3.2.2 Preparasi Akuarium**

Akuarium dengan ukuran 30 cm x 30 cm x 40 cm disiapkan sebanyak 4 buah kemudian dicuci hingga bersih dan dikeringkan. Air laut yang digunakan yaitu air laut buatan yang diaerasi terlebih dahulu. Medium berupa sedimen pasir dimasukkan ke dalam akuarium setinggi 5 cm dari dasar akuarium. Setelah itu air laut tersebut dipindahkan ke dalam akuarium hingga mencapai 5 cm dari atas permukaan.

Bibit lamun *T. hemprichii* yang telah diambil, ditanam pada hari yang sama ke dalam akuarium yang berisi *Hoaglands Solution* sebagai unsur hara. Kandungan *Hoaglands Solution*

yang digunakan adalah sebagai berikut : 4 ml/L *calcium nitrate* [Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O], 6 ml *potassium nitrate* (KNO<sub>3</sub>), 2 ml *magnesium sulphate* [MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O], 6 ml *ammonium phosphate* [NH<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>.PO<sub>4</sub>], 2 ml *iron* + 2 ml mikronutrien yang dilarutkan dalam 4 liter akuades (Taiz and Zeiger, 2006).

Lamun *T. hemprichii* dipilih dengan ketinggian hampir seragam yaitu ± 10 cm. Satu tegakan adalah satu individu. Bibit lamun dibersihkan dari substrat menggunakan air laut kemudian ditanam di dalam akuarium yang berisi sedimen dan air laut. Setiap akuarium ditanami dengan 6 tegakan lamun. Bibit lamun yang ditanam, dicatat dan diberi tanda. Selain itu juga diberikan aerasi menggunakan *water pump*. Setelah penanaman, didiamkan selama dua hari agar sedimen yang teraduk kembali mengendap sehingga tidak mengganggu hasil pengamatan dan diaklimatisasi selama ± 7 hari.

### 3.2.3 Pembuatan Larutan Kadmium (Cd)

Pada penelitian ini dibuat dengan 4 perlakuan pada kultur *T. hemprichii* dengan kadmium (Cd) yang berkadar 0 ppm, 0,01 ppm, 0,05 ppm dan 0,1 ppm. Larutan stok Cd dibuat dengan cara melarutkan 1 mg dalam 1 L akuades sehingga menghasilkan stok kadmium dengan konsentrasi 1 ppm. Stok kadmium yang dibuat kemudian diencerkan hingga mendapatkan konsentrasi 0,01 ppm, 0,05 ppm dan 0,1 ppm menggunakan rumus pengenceran yaitu:

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

Keterangan:

V<sub>1</sub> : Volume yang diambil

V<sub>2</sub> : Volume yang dicari

N<sub>1</sub> : Konsentrasi awal

N<sub>2</sub> : Konsentrasi akhir

### 3.2.4 Pengamatan Pertumbuhan

Pertumbuhan *T. hemprichii* dilihat dari daun, akar dan tunas. Pengamatan pada daun meliputi warna daun dan jumlah daun, sedangkan pada akar yaitu warna akar, panjang akar dan anatomi kerusakan akar. Selain itu, dilakukan penghitungan jumlah tunas yang tumbuh dan ketinggiannya setiap hari. Hasil

pengamatan yang didapatkan dicatat dan difoto sebagai data yang akan dianalisis. Pengamatan pertumbuhan dilakukan selama 30 hari.

### 3.2.5 Pengamatan Kerusakan Akar

Pengamatan kerusakan pada jaringan akar dilihat menggunakan metode parafin. *T. hemprichii* dipanen pada hari terakhir pengamatan pada setiap perlakuan dan pengulangan. Berikut ini merupakan tahapan untuk membuat preparat permanen dari akar *T. hemprichii* menggunakan metode parafin.

#### 3.2.5.1 Fiksasi

Fiksasi dilakukan menggunakan larutan FAA dengan komposisi 90% alkohol 70%, 5% asam asetat glasial dan 5% formalin. Akar lamun *T. hemprichii* yang dipanen kemudian direndam di dalam larutan FAA selama 24 jam.

#### 3.2.5.2 Pencucian dan Dehidrasi

Tahap selanjutnya yaitu pencucian dan dehidrasi. Larutan FAA dibuang dan berturut-turut diganti dengan :

- Alkohol 70% selama 30 menit
- Alkohol 80% selama 30 menit
- Alkohol 95% selama 30 menit
- Alkohol 100% I selama 30 menit
- Alkohol 100% II selama 30 menit

Setelah itu alkohol dibuang dan dilakukan dehidrasi berturut-turut dengan campuran :

- Alkohol-butanol 3:1 selama 30 menit
- Alkohol-butanol 1:1 selama 30 menit
- Alkohol-butanol 1:3 selama 30 menit
- Butanol I selama 30 menit
- Butanol II selama 30 menit
- Campuran butanol-parafin 1:9  
dengan temperatur 57°C selama 24 jam

#### 3.2.5.3 Infiltrasi

Setelah dilakukan dehidrasi maka dilarutkan pada proses infiltrasi menggunakan parafin murni. Campuran butanol-parafin

diganti dengan parafin murni pada temperatur  $57^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 24$  jam.

#### 3.2.5.4 Penyelubungan

Setelah 24 jam, maka parafin dibuang kemudian diganti dengan parafin yang baru. Setelah  $\pm 1$  jam kemudian dilanjutkan dengan membuat blok.

#### 3.2.5.5 Pengirisan dan Perekatan

Tahap selanjutnya yaitu pengirisan. Pengirisan dilakukan dengan membuat irisan-irisan menggunakan *rotary microtome* dengan tebal tertentu. Irisan yang telah dibuat kemudian dilekatkan pada gelas benda dengan campuran gliserin-albumin yang diberi air. Kemudian gelas benda diletakkan di atas *hot plate* dengan temperatur  $45^{\circ}\text{C}$  sampai pita parafin meregang.

#### 3.2.5.6 Pewarnaan

Tahap paling akhir yaitu pewarnaan. Pewarnaan ini yaitu pewarnaan tunggal dengan safranin 1% dalam akuades. Selanjutnya, gelas benda berturut-turut dimasukkan ke dalam :

- Xilol selama 3 menit
- Xilol selama 3 menit
- Campuran alkohol-xilol 1:3 selama 3 menit
- Campuran alkohol-xilol 1:1 selama 3 menit
- Campuran alkohol-xilol 3:1 selama 3 menit
- Alkohol absolut I selama 3 menit
- Alkohol absolut II selama 3 menit
- Alkohol 95% selama 3 menit
- Alkohol 80% selama 3 menit
- Alkohol 60% selama 3 menit
- Alkohol 40% selama 3 menit
- Alkohol 20% selama 3 menit
- Akuades selama 3 menit
- Safranin 1% dalam akuades selama 2 jam
- Akuades selama 3 menit
- Alkohol 20% selama 3 menit
- Alkohol 40% selama 3 menit

- Alkohol 60% selama 3 menit
- Alkohol 80% selama 3 menit
- Alkohol 95% selama 3 menit
- Alkohol absolut I selama 3 menit
- Alkohol absolut II selama 3 menit
- Campuran alkohol-xilol 3:1 selama 3 menit
- Campuran alkohol-xilol 1:1 selama 3 menit
- Campuran alkohol-xilol 1:3 selama 3 menit
- Xilol selama 3 menit
- Xilol selama 3 menit

Setelah pewarnaan selesai maka irisan ditutup dengan gelas penutup yang diberi balsam Kanada/entelan terlebih dahulu. Preparat dikeringkan di atas *hot plate* dengan temperatur 45°C hingga balsam Kanada/entelan cukup kering. Kemudian dilekatkan etiket dengan keterangan kemudian preparat diamati di bawah mikroskop. Hasil preparat jaringan akar *T. hemprichii* yang dikulturkan diamati menggunakan mikroskop *compound* (Olympus X21) yang dilengkapi dengan optilab.

### 3.3 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dengan 4 perlakuan dan masing-masing perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 6 kali. Tabel pengamatan pertumbuhan *T. hemprichii* yang disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 3.3.1 Pengamatan Panjang Akar

Konsentrasi Cd	Panjang Akar						Rerata
	1	2	3	4	5	6	
A 0							
A 1							
A 2							
A 3							

Tabel 3.3.2 Pengamatan Jumlah Tunas Baru

Konsentrasi Cd	Jumlah Tunas Baru						Rerata
	1	2	3	4	5	6	
A 0							
A 1							
A 2							
A 3							

Tabel 3.3.3 Pengamatan Tinggi Tunas Baru

Konsentrasi Cd	Tinggi Tunas Baru						Rerata
	1	2	3	4	5	6	
A 0							
A 1							
A 2							
A 3							

Tabel 3.3.4 Pengamatan Jumlah Daun

Konsentrasi Cd	Jumlah Daun						Rerata
	1	2	3	4	5	6	
A 0							
A 1							
A 2							
A 3							

Tabel 3.3.5 Warna Daun dan Akar

Konsentrasi Cd	Warna Daun						Warna Akar					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
A 0												
A 1												
A 2												
A 3												

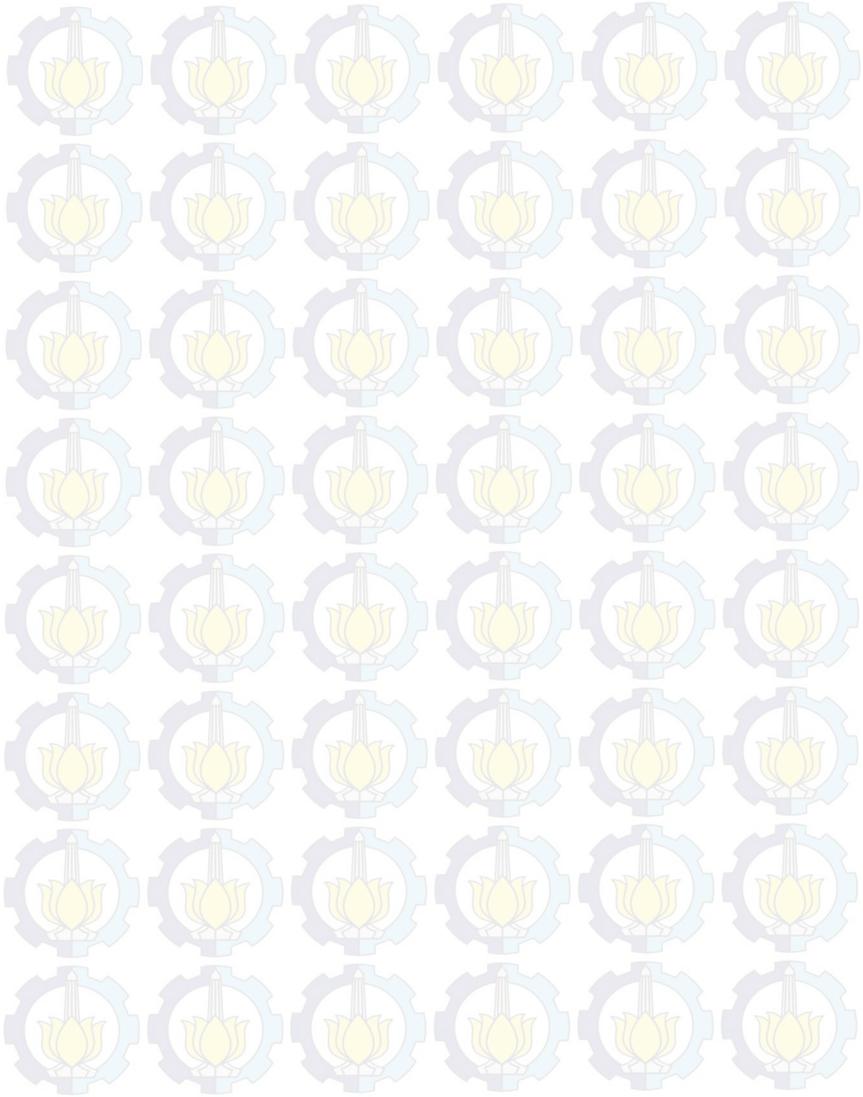
Keterangan:

- A 0 : Perlakuan pada konsentrasi 0 ppm
- A 1 : Perlakuan pada konsentrasi 0,01 ppm
- A 2 : Perlakuan pada konsentrasi 0,05 ppm
- A 3 : Perlakuan pada konsentrasi 0,1 ppm

### 3.4 Analisis Data

Data berupa warna daun dan warna akar serta anatomi kerusakan akar dianalisis secara deskriptif. Sedangkan data berupa panjang akar, jumlah tunas baru dan tinggi tunas baru dianalisis secara kuantitatif menggunakan *ANOVA One-Way* dengan program Minitab. Apabila  $P < 0,05$  berarti tidak ada perbedaan nyata ( $H_0$ ), sedangkan bila  $P > 0,05$  berarti ada perbedaan nyata ( $H_1$ ). Jika ditemukan pengaruh perlakuan cekaman Cd terhadap parameter pengamatan dari uji ANOVA maka akan dilanjutkan analisis menggunakan uji Tukey untuk mengetahui perbedaan dari perlakuan-perlakuan tersebut. Uji Tukey ini mensyaratkan bahwa semua perlakuan relatif seragam. Bila semua perlakuan memiliki ulangan yang sama uji ini dapat digunakan untuk membandingkan pengaruh perlakuan (Nainggolan, 2009).

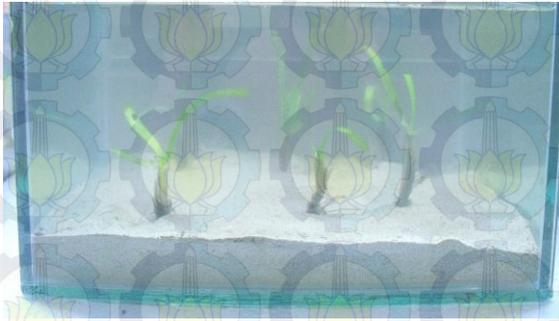
**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



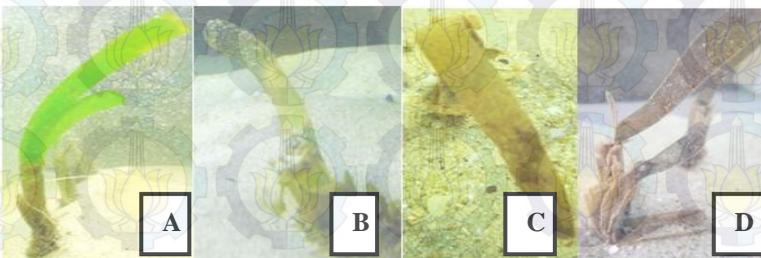
## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Efek Cekaman Kadmium terhadap Warna Daun

Pertumbuhan akar dan warna daun umumnya menjadi patokan respon fisiologis tumbuhan akibat cekaman logam karena berhubungan erat dengan terganggunya aktivitas dalam sel dan metabolisme tumbuhan (Rosidah *et al.*, 2014). Fitoksisitas Cd dapat menyebabkan klorosis, nekrosis, layu serta gangguan fotosintesis dan transpirasi sehingga menghambat pertumbuhan (Maier *et al.*, 2003).

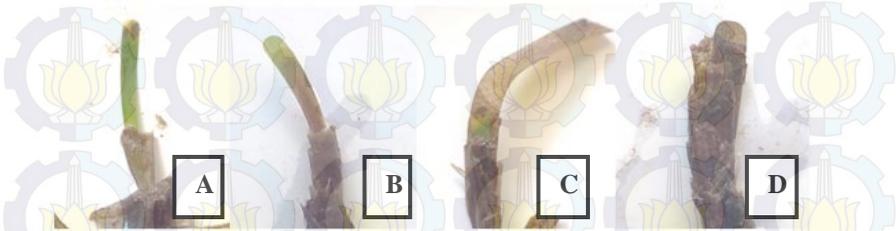


Gambar 4.1.1 Kondisi Warna Daun *T. hemprichii* pada awal penanaman.



Gambar 4.1.2 Kondisi Warna Daun *T. hemprichii* pada hari ke-15.

Keterangan Gambar: (A) 0 ppm (B) 0,01 ppm (C) 0,05 ppm (D) 0,1 ppm.



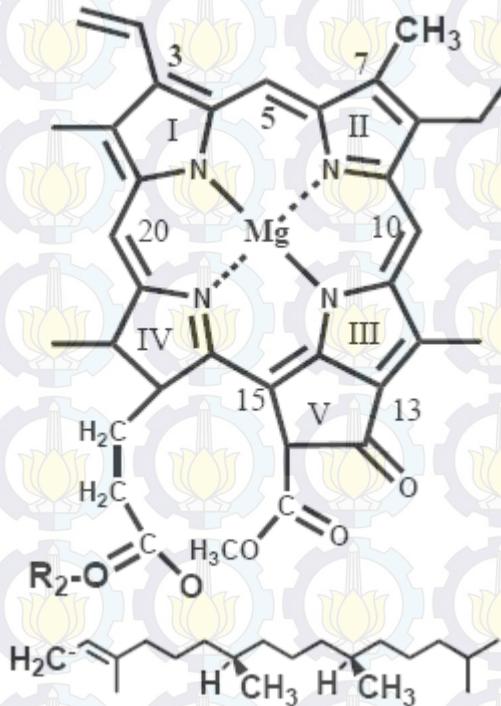
Gambar 4.1.3 Warna Daun *T. hemprichii* pada Hari ke-30.

Keterangan Gambar: (A) 0 ppm (B) 0,01 ppm (C) 0,05 ppm (D) 0,1 ppm.

Pada awal penanaman terlihat bahwa semua daun *T. hemprichii* berwarna hijau (Gambar 4.1.1). Warna daun mulai menguning pada hari ke-5. Perubahan warna ini terlihat pada penambahan kadmium sebesar 0,01 ppm, 0,05 ppm dan 0,1 ppm sedangkan *T. hemprichii* tanpa penambahan kadmium, daun masih terlihat hijau. Pada hari ke-7 terjadi perubahan warna sedikit hitam pada daun *T. hemprichii* dengan konsentrasi kadmium sebesar 0,05 ppm dan 0,1 ppm. Pada hari ke-15 (Gambar 4.1.2) hingga hari ke-30 pemaparan, terlihat perubahan warna daun semakin menghitam.

Gambar 4.1.3 menunjukkan warna daun *T. hemprichii* pada waktu dipanen setelah 30 hari perlakuan. Pada perlakuan 0 ppm, daun terlihat berwarna hijau. Hal ini berbeda dengan perlakuan lain yang diberi tambahan kadmium. Daun terlihat menguning kecoklatan pada perlakuan 0,01 ppm dan 0,05 ppm sedangkan pada penambahan kadmium sebesar 0,1 ppm, daun terlihat berwarna coklat kehitaman. Hal ini serupa dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rosidah *et al.* (2014) yang menggunakan paparan Cd pada tanaman tembakau. Gejala klorosis ditunjukkan dengan perubahan warna daun menjadi kuning. Pada hari ke-25 kandungan Cd semakin tinggi sehingga menyebabkan gejala nekrosis daun. Gejala nekrosis daun tersebut ditandai dengan berubahnya warna kuning menjadi coklat (Rismawati, 2011).

Logam dapat masuk ke dalam sel dan jaringan sehingga reaksi kimia di sel akan terganggu. Kerusakan tersebut dapat ditandai dengan klorosis pada tumbuhan (Haryati *et al.*, 2012). Secara umum klorosis disebabkan oleh berkurangnya mineral yang dibutuhkan untuk produksi klorofil seperti Fe dan Mg (Nazar *et al.*, 2012).



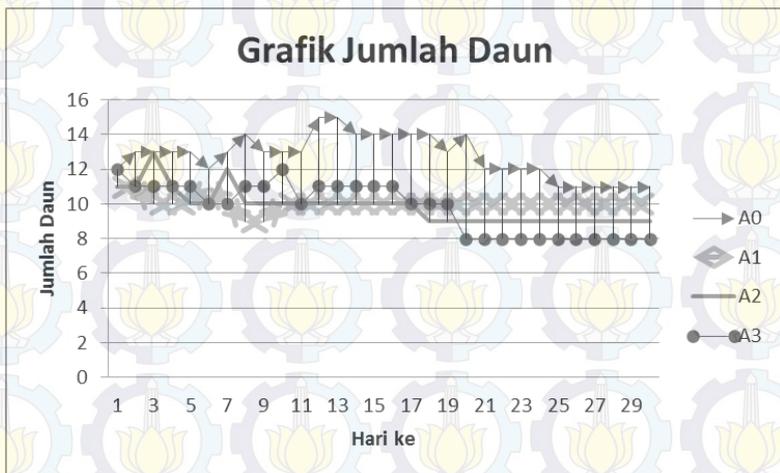
Gambar 4.1.4 Struktur Klorofil (Budiyanto *et al.*, 2008).

Mg merupakan salah satu bagian enzim yang disebut *organic pyrophosphate* dan *carboxy peptisida* sedangkan Fe terdapat pada enzim *catalase*, *peroksidase*, *prinodic hidrogenase* dan *cytochrome oxidase* (Ginting, 2013). Hal ini menyebabkan perubahan warna daun (Gambar 4.1.2 dan gambar 4.1.3) karena Cd dapat berikatan dengan enzim sebagai katalisator sehingga reaksi kimia di sel akan terganggu (Haryati *et al.*, 2012).

Akibatnya, tumbuhan akan kekurangan Fe dan Mg sehingga produksi klorofil akan berkurang. Kekurangan klorofil mengakibatkan perubahan warna daun sedangkan daun yang menghitam menandakan bahwa klorofil telah hilang dan proses fotosintesis tidak dapat berlangsung. Tumbuhan dapat bertahan terhadap cekaman logam berat dalam jumlah kecil, namun dalam konsentrasi tinggi akan menghambat pertumbuhan (Suharno & Sancayaningsih, 2013).

#### 4.2 Efek Cekaman Kadmium terhadap Jumlah Daun

Hasil analisis ANOVA (lampiran 1) menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan tidak memberikan pengaruh terhadap jumlah daun *T. hemprichii* dengan paparan Cd hingga batas 0,1 ppm. Hasil analisa data menunjukkan tidak adanya pengaruh namun bila dilihat berdasarkan grafik 4.2 akan terlihat perbedaannya. Respon ini diduga karena sifat toleran tanaman terhadap Cd karena tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam berat dari media lingkungan. Hal ini terjadi karena setiap tumbuhan memiliki mekanisme pertahanan terhadap logam berat yang berbeda-beda.



Grafik 4.2 Jumlah Daun *T. hemprichii*.

Keterangan: A0: 0 ppm, A1: 0,01 ppm, A2: 0,05 ppm dan A3: 0,1 ppm.

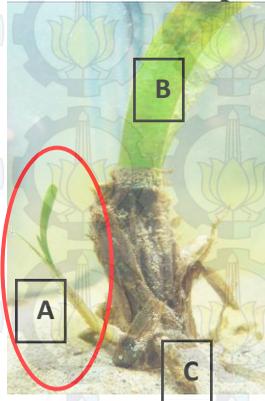
Grafik di atas menunjukkan jumlah daun yang dipapar menggunakan kadmium selama 30 hari. Setiap perlakuan menunjukkan adanya penambahan dan pengurangan jumlah daun. Grafik di atas menunjukkan bahwa perlakuan 0 ppm kadmium memiliki jumlah daun tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lain sedangkan pada konsentrasi 0,1 ppm memiliki nilai yang paling rendah. Pada awal pemaparan hingga hari ke-12 terdapat kemunculan daun baru pada semua perlakuan. Hal ini dimungkinkan karena kadmium yang masuk disimpan di akar dan hanya sedikit yang ditranslokasikan hingga ke daun. Tumbuhan dapat tercemar logam berat melalui penyerapan akar dari tanah. Namun, pada hari ke-20, perlakuan 0,01 ppm, 0,05 ppm dan 0,1 ppm menunjukkan tidak terdapat lagi pertumbuhan daun yang dimungkinkan kadmium ditanslokasikan ke daun dalam jumlah yang lebih banyak. Kadmium masuk ke dalam jaringan tumbuhan bersamaan dengan penyerapan unsur hara. Penyerapan unsur hara dalam waktu yang lebih lama menyebabkan konsentrasi hara dalam sel jauh lebih tinggi (Lakitan, 2001). Konsentrasi hara yang tinggi berbanding lurus dengan konsentrasi kadmium yang masuk karena kadmium dapat menggantikan unsur-unsur hara yang diperlukan oleh tumbuhan (Leyval *et al.*, 2002).

Pada tahap awal perkembangan daun, setiap tumbuhan memerlukan unsur hara yang cukup. Unsur hara tersebut berupa mineral-mineral yang dibutuhkan oleh tumbuhan yaitu nitrogen (N), fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), magnesium (Mg), belerang (S), besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), khlor (Cl), molybdenum (Mo) dan boron (B) (Sarief, 2010). Pada dasarnya Cu, Fe, Mn dan Zn merupakan unsur esensial untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Unsur-unsur ini penting digunakan dalam reaksi berbagai katalis enzim atau reaksi redoks, transfer elektron dan fungsi struktural dalam metabolisme asam nukleat (Marschner, 1999). Sebaliknya, beberapa logam seperti Cd merupakan unsur non-esensial (Khan, 2006). Pada konsentrasi tinggi, logam berat mengganggu aktivitas kerja enzim dengan memodifikasi struktur protein atau mengganti elemen penting yang

mengakibatkan gejala defisiensi. Gejalanya berupa klorosis, pertumbuhan yang lambat dan akar yang berwarna kecoklatan (Leyval *et al.*, 2002).

Tumbuhan dapat bertahan terhadap cekaman logam berat dalam jumlah kecil, namun dalam konsentrasi tinggi akan menghambat pertumbuhan (Suharno & Sancayaningsih, 2013). Pada awal pemaparan, jumlah daun bertambah yang mungkin dikarenakan *T. hemprichii* dapat bertahan terhadap cekaman Cd dalam jumlah kecil. Pertahanan logam berat tersebut terjadi karena adanya fitokelatin yang dapat membentuk ikatan kompleks dengan ion kadmium. Fitokelatin adalah suatu protein yang mampu mengikat logam yang tersusun dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin (Priyanto & Prayitno, 2007).

#### 4.3 Efek Cekaman Kadmium terhadap Jumlah Tunas Baru



Gambar 4.3 Tunas baru *T. hemprichii*.

Keterangan: (A) Tunas baru (B) Daun (C) Rhizoma.

Hasil analisis ANOVA (lampiran 2) menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan tidak memberikan pengaruh terhadap jumlah tunas baru. Tunas baru yang tumbuh hanya terdapat pada konsentrasi kadmium 0 ppm sedangkan pada perlakuan lain tidak ditemukan. Tunas baru itu berasal dari nodus-nodus yang ada di rhizoma (Nezon & Setiono, 2008). Pada perlakuan 0,01 ppm,

0,05 ppm dan 0,1 ppm tidak muncul tunas baru dimungkinkan karena terdapat logam Cd dalam lingkungan.

Logam berat mengganggu aktivitas kerja enzim dengan memodifikasi struktur protein atau mengganti elemen penting seperti Fe dan Zn yang mengakibatkan gejala defisiensi (Leyval *et al.*, 2002). Tumbuhan mampu menghasilkan fitokelatin sebagai cara untuk mempertahankan diri ketika sel-sel tumbuhan berada dalam cekaman logam berat (Taiz & Zeiger, 2002). *T. hemprichii* selama masa pemaparan tidak ada yang mengalami kematian. Hal ini menunjukkan bahwa *T. hemprichii* mampu mempertahankan diri. Namun, berdasarkan hasil parameter jumlah tunas baru, pertumbuhan *T. hemprichii* dapat dikatakan terganggu karena tidak ditemukan tunas baru yang tumbuh. Hal ini merupakan respon dari *T. hemprichii* akibat adanya Cd di lingkungan. Logam Cd menghambat pertumbuhan dengan memblokir unsur hara dan mengganggu pembelahan sel (Kurtyka *et al.*, 2008). Unsur hara yang sedikit akan berdampak pada terganggunya pembelahan sel sehingga tunas baru tidak ditemukan pada perlakuan dengan penambahan kadmium 0,01 ppm, 0,05 ppm dan 0,1 ppm.

#### **4.4 Efek Cekaman Kadmium terhadap Tinggi Tunas Baru**

Hasil analisis ANOVA (lampiran 3) menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan tidak memberikan pengaruh. Data tinggi tunas baru hanya didapatkan dari satu perlakuan yaitu konsentrasi kadmium sebesar 0 ppm. Hal ini dikarenakan perkembangbiakan vegetatif *T. hemprichii* membutuhkan waktu yang lama (Sambara, 2014). Laju pertumbuhan tunas baru *T. hemprichii* yang diamati selama 30 hari menunjukkan peningkatan seperti pada grafik di bawah ini :



Grafik 4.4 Pertumbuhan Tunas Baru *T. hemprichii*.

Grafik di atas, menunjukkan terjadi peningkatan angka pertumbuhan dari hari ke hari. Pertumbuhan suatu tanaman dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal yaitu faktor yang berada dalam tumbuhan itu sendiri seperti gen sedangkan faktor eksternal dapat berasal dari lingkungan, dalam hal ini yaitu Cd. Cd yang berada di lingkungan perairan dapat masuk melalui akar bersamaan dengan proses transpirasi. Penelitian Wang *et al.* (2007) pada semaian jagung menunjukkan pemberian larutan Cd menurunkan pertumbuhan jagung bahkan menghentikan pertumbuhan akar.

#### 4.5 Efek Cekaman Kadmium terhadap Warna Akar



Gambar 4.5 Kondisi Warna Akar *T. hemprichii* setelah dipapar kadmium selama 30 hari.

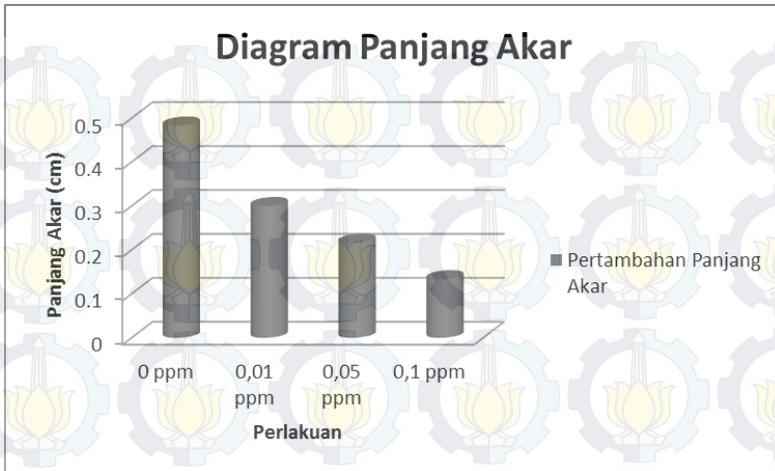
Keterangan Gambar: (A) 0 ppm (B) 0,01 ppm (C) 0,05 ppm (D) 0,1 ppm .

Warna menjadi parameter yang penting untuk mengetahui gangguan metabolisme yang terjadi pada sel. Pada umumnya akar lamun yang sehat berwarna kuning-coklat pucat (Hemminga & Duarte, 2000). Gambar 4.5 menunjukkan warna akar pada akhir perlakuan. Gambar A, B dan C menunjukkan warna akar yang hampir sama yaitu kuning kecoklatan sedangkan gambar D menunjukkan warna akar coklat gelap bahkan cenderung hitam. Warna akar pada konsentrasi 0,1 ppm cenderung lebih gelap karena Cd yang dipaparkan juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan perlakuan yang lain.

Perubahan warna akar menunjukkan adanya cekaman logam berat yang mengganggu metabolisme. Pigmen akar yang berwarna kuning-kecoklatan akan rusak karena Cd yang masuk ke dalam sel karena menyebabkan kerusakan oksidatif jaringan tanaman akibat respon terhadap logam berat. Gejalanya berupa warna akar kecoklatan yang menurunkan efektivitas dan berpengaruh terhadap fotosistem (Leyval *et al.*, 2002) sehingga warna akar akan berubah karena kehilangan pigmen warna.

#### **4.6 Efek Cekaman Kadmium terhadap Panjang Akar**

Hasil analisis ANOVA (lampiran 4) menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan tidak memberikan pengaruh terhadap panjang akar. Selain dianalisis menggunakan ANOVA, data panjang akar dapat disajikan dalam diagram batang berikut.



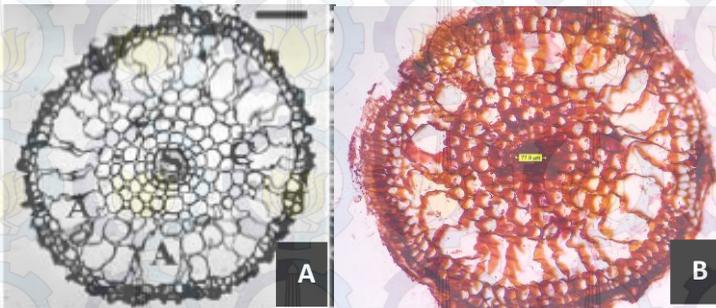
Gambar 4.6 Diagram Panjang Akar *T. hemprichii*.

Diagram di atas menunjukkan respon panjang akar *T. hemprichii* yang dipapar logam berat kadmium. Peningkatan konsentrasi kadmium yang diberikan diiringi dengan penurunan pertambahan panjang akar. Pertumbuhan panjang akar merupakan indikator besar tidaknya efek cekaman logam berat terhadap akar (Rosidah *et al.*, 2014). Semakin tinggi kadmium yang ada maka pertumbuhan akar semakin terganggu. Laju pertumbuhan panjang akar yang paling tinggi yaitu pada konsentrasi pemberian kadmium sebesar 0 ppm sedangkan yang paling rendah yaitu pada konsentrasi kadmium 0,1 ppm.

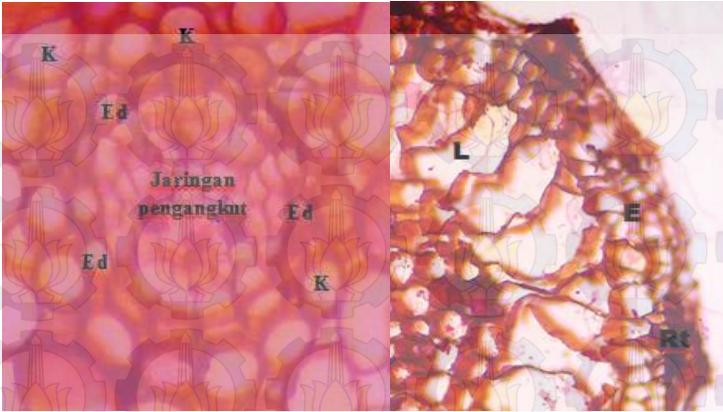
Secara umum cekaman logam berat menyebabkan kerusakan intraseluler dan ekstraseluler yang mengakibatkan gangguan pertumbuhan. Gangguan pertumbuhan yang ditunjukkan oleh parameter pertambahan panjang akar disebabkan oleh gangguan penyerapan mineral penting dan gangguan metabolisme dalam sel (Taiz & Zeiger, 2010). Cd dapat mengganggu metabolisme dalam sel dikarenakan Cd tidak memiliki *transporter* spesifik di dalam sel. Logam Cd menyebabkan beberapa abnormalitas seperti patahnya kromosom (Zou *et al.*, 2012). Secara *in-vitro*, kehadiran

Cd mempengaruhi keseimbangan hara mikro dan makro nutrisi sehingga cekaman Cd menyebabkan gangguan metabolisme yang menyebabkan penurunan pertumbuhan akar. Beberapa *transporter* seperti *ATP-metal binding*, *Natural Resistance Associated Macrophase* (NRAMP) dan *Zinc Transporter* (ZIP) tidak hanya mengikat mineral esensial seperti Fe dan Zn tetapi juga logam Cd. Pada saat cekaman, konsentrasi Cd yang melimpah menyebabkan selektivitas *transporter* menurun sehingga Cd memblokir pengikatan Fe dan Zn (Rosidah *et al.*, 2014). Fe berperan penting bagi pembentukan klorofil (Sarief, 2010). Kekurangan Fe menyebabkan tumbuhan menjadi klorosis yang terlihat pada parameter warna daun. Kekurangan Zn akan mempengaruhi pembentukan hormon auksin (Sarief, 2010) sehingga pemanjangan akar terhambat. Inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan panjang akar seperti yang terlihat pada gambar 4.6.

#### 4.7 Pengaruh Kadmium terhadap Kerusakan Anatomi Akar



Gambar 4.7.1 Anatomi Akar *T. hemprichii* (Perbesaran 100 X).  
Keterangan : A. Anatomi Akar Lamun yang Sehat (Larkum *et al.*, 2006) B. Anatomi Akar *T. hemprichii* pada perlakuan 0,01 ppm setelah 30 hari (dokumentasi pribadi).



Gambar 4.7.2 Bagian-Bagian Akar *T. hemprichii* (Perbesaran 100 X).

Keterangan : Ed (Endodermis), K (Korteks), L (Lakuna), E (Epidermis dan Rt (Rambut Akar).

Gambar 4.7.1 dan gambar 4.7.2 menunjukkan anatomi akar dari *T. hemprichii*. Akar dari semua lamun memiliki tudung akar yang melindungi sel meristem yang berfungsi dalam pembelahan sel. Pada lapisan terluar, terdapat lapisan epidermis biasanya tipis tetapi setiap lamun memiliki perbedaan struktur anatomi akar yang bergantung pada jenisnya (Larkum *et al.*, 2006). Pada *T. hemprichii*, korteks terdiri dari beberapa sel kompak yang tebal. Korteks tengah mengandung beberapa lapisan ber dinding tipis. Semua spesies lamun, dinding dari endodermisnya tipis dan padat, baik yang mengalami lignifikasi atau tidak mengalami lignifikasi. Di dalam lapisan mesofil terdapat ruang udara atau lakuna untuk melepaskan sebagian oksigen hasil fotosintesis (Larkum *et al.*, 2006).

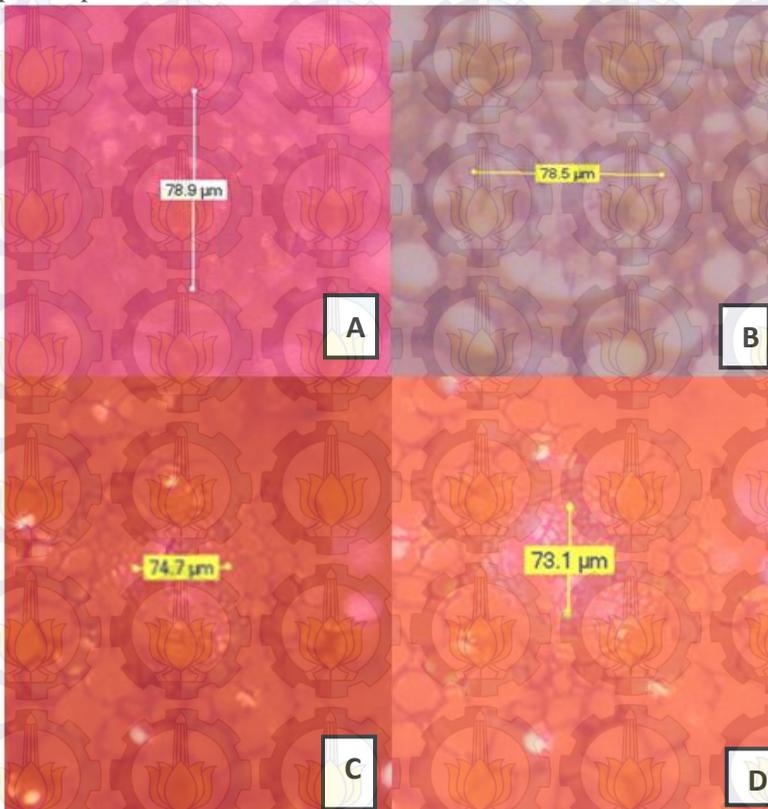


Gambar 4.7.3 Anatomi Akar *T. hemprichii* yang Mengalami Kerusakan setelah 30 Hari (0,1 ppm) (Perbesaran 100 X).

Pada pengamatan struktur anatomi akar *T. hemprichii*, didapatkan hasil bahwa secara umum sel-sel dalam akar spesies ini tidak mengalami kerusakan kecuali pada perlakuan 0,1 ppm. Pada perlakuan 0,1 ppm terlihat adanya kerusakan sehingga terbentuk rongga di antara jaringan pengangkut (Gambar 4.7.3). Mekanisme masuknya Cd ke dalam tumbuhan diawali dengan masuknya logam berat ke dalam sel akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut yaitu xilem. Translokasi Cd dilakukan melalui xilem sehingga akumulasi banyak ditemukan pada jaringan pengangkut (Liu *et al.*, 2010).

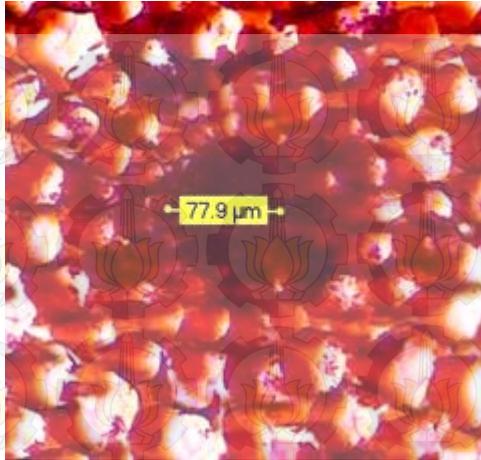
Tumbuhan pada saat menyerap logam berat akan membentuk suatu enzim reduktase di membran akarnya. Reduktase ini berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui jaringan pengangkut. Pada konsentrasi tinggi, logam berat akan menyebabkan kerusakan (Priyanto & Prayitno, 2009). Kerusakan pada anatomi akar *T. hemprichii* (Gambar 4.7.3) dikarenakan paparan Cd yang diberikan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lain yaitu sebesar 0,1 ppm.

Rusaknya sel akar *T. hemprichii* ini disebabkan oleh kehadiran Cd. Kehadiran Cd dalam akar menyebabkan degradasi sel yang mengakibatkan rusaknya sel akar. Pada umumnya, Cd menurunkan toleransi tumbuhan terhadap stres air yang menyebabkan hilangnya tekanan turgor. Gangguan pada xilem oleh Cd mengakibatkan dinding sel mengalami degradasi karena menurunnya proses transpirasi (Prasad, 1997). Selain itu, logam Cd juga menyebabkan abnormalitas seperti patahnya kromosom (Zou *et al.*, 2012). Patahnya kromosom dapat mempengaruhi proses pembelahan sel.



Gambar 4.7.4 Perbandingan Ukuran Jaringan Pengangkut Akar *T. hemprichii* (Perbesaran 100 X).

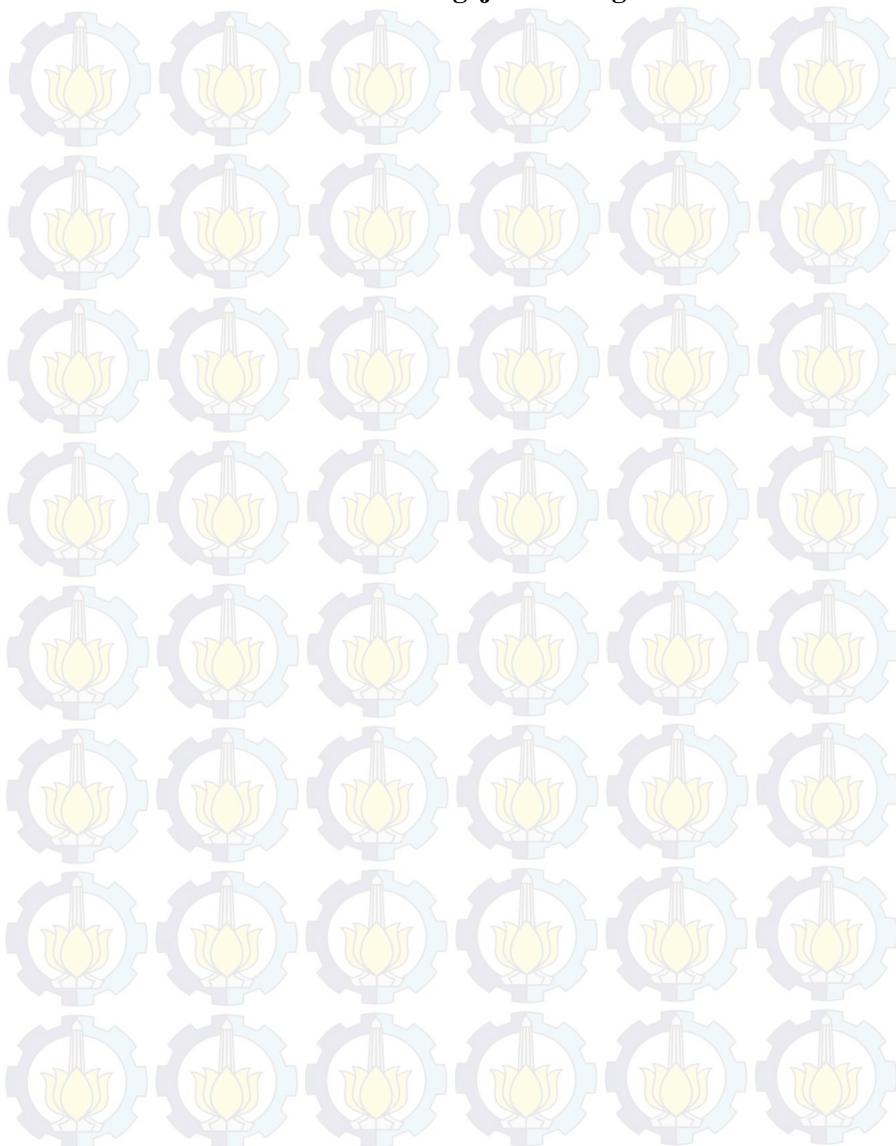
Keterangan : A. 0 ppm (78,9 μm) B. 0,01 ppm (78,5 μm) C. 0,05 ppm (74,5 μm) D. 0,1 ppm (73,1 μm).



Gambar 4.7.5 Anatomi Akar *T. hemprichii* Kontrol Alam (Perbesaran 100 X).

Kerusakan jaringan akar dapat juga dapat dilihat dari ukuran jaringan pengangkut dari masing-masing perlakuan. Ukuran terbesar terdapat pada perlakuan 0 ppm Cd yaitu 78,9 μm sedangkan perlakuan dengan konsentrasi 0,01 ppm, 0,05 ppm dan 0,1 ppm berturut-turut adalah 78,5 μm, 74,5 μm dan 73,1 μm. Anatomi akar dari *T. hemprichii* yang diambil langsung dari Baluran memiliki ukuran 77,9 μm. Akar yang digunakan sebagai kontrol alam memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kontrol 0 ppm. Hal ini disebabkan air laut Baluran mengandung Cd sebesar 0,039 ppm. *T. hemprichii* dimungkinkan dapat melakukan mekanisme pertahanan terhadap Cd dengan konsentrasi sebesar 0,01 ppm, 0,0349 ppm dan 0,05 ppm sehingga jaringan akar tidak mengalami kerusakan sedangkan pada konsentrasi 0,1 ppm ditemukan kerusakan pada sel akar.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

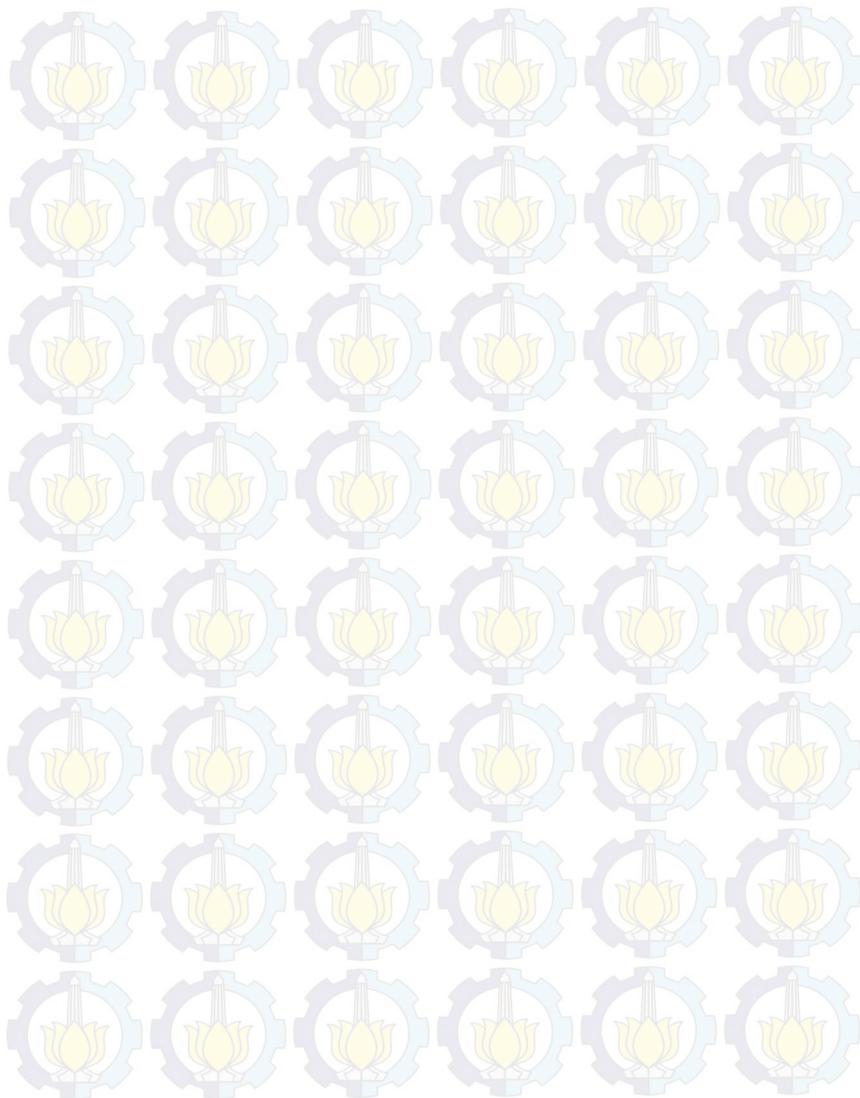
Pada penelitian analisa kerusakan jaringan akar dan pertumbuhan *T. hemprichii* yang terpapar logam berat Cd yang dikulturkan secara *in-vitro* menunjukkan bahwa Cd pada konsentrasi 0,1 ppm dapat menyebabkan kerusakan sel akar. Pada konsentrasi 0,01 ppm dan 0,05 ppm tidak menyebabkan kerusakan sel akar tetapi hanya mengganggu pertumbuhan dari *T. hemprichii*. Gangguan yang terlihat yaitu tidak munculnya tunas baru pada *T. hemprichii* yang dikulturkan secara *in-vitro* dengan penambahan kadmium. Konsentrasi 0 ppm memiliki pertumbuhan yang paling baik di antara perlakuan dengan penambahan Cd sedangkan konsentrasi 0,1 ppm memberikan pengaruh yang paling signifikan terhadap *T. hemprichii* karena Cd dalam konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan jaringan akar dan mengganggu pertumbuhan.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian tentang kandungan logam berat Cd pada masing-masing bagian dari *T. hemprichii* agar diketahui jumlah Cd yang dapat diserap oleh spesies ini
2. Perlu dilakukannya penelitian lanjutan *T. hemprichii* secara *in-vitro* dengan paparan logam berat lain sehingga informasi tentang ketahanan spesies ini lebih mudah diketahui.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## DAFTAR PUSTAKA

Ali, H., E. Khan and M. A. Sajad. 2013. Phytoremediation of Heavy Metals-Concepts and Applications. **Chemosphere** 91 (2013) 477-483.

Amin, B., A. Ismail, A. Arshad, C. K. Yap dan M. S. Kamarudin. 2009. Anthropogenic Impacts on Heavy Metals Concentrations in the Coastal Sediment of Dumai, Indonesia. **Environ. Monit. Assess** 148:291-305.

Aripai, M., A. Daud dan R. La Ane. 2012. Analisis Risiko Paparan Kadmium (Cd) pada Air dan Kerang Putih (*Anadonta woodiana*) di Sungai Pangkajene. **Tesis**. Bagian Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat. UNHAS.

Astuti, Widya, 2011. **Kandungan Logam Berat Pb (Timbal) pada Lamun *Enhalus acoroides* di Pesisir Teluk Ambon**. Diakses dari <<http://www.elibrary.ub.ac.id/>> [29 Oktober 2014].

Azkab, M. H. 2000. Struktur dan Fungsi pada Komunitas Lamun. **Oseana** 25 (3):9-17.

Bengen, Dietrich G. 2001. **Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove**. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. IPB. Bogor.

Budiyanto, A. W., S. Notosudarmo dan L. Limantara. 2008. Pengaruh Pengasaman terhadap Fotodegradasi Klorofil  $\alpha$ . **Jurnal Matematika dan Sains**. Vol. 13 No. 3.

Bujang, J. S., L. L. Huat, M. H. Zakaria, A. Arshad dan H. Ogawa. 2008. Laboratory Culture of the Seagrass, *Halophila ovalis* (R. Br.) Hooker f. **Mar. Res. Indonesia**. Vol. 33. No. 1, 2008 : 1-6

Charlena, 2004. **Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Sayur-Sayuran**. Falsafah Sains. Program Pascasarjana S3 IPB.

Cobbet, C. S. 2000. Phytochelatins and Their Roles in Heavy Metal Detoxification. **Plant Physiol** 123: 825-832.

Dahuri, R. 2001. **Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu**. Pradnya Paramita. Jakarta.

Fry, S. C., J. C. Miller & J. C. Dumville. 2002. A Proposed Role for Copper Ions in Cell Wall Loosening. **Plant soil** 247: 57-67.

Ginting, L. R. 2013. Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Potassium *Ammonium Polyphosphate* dari *Ammonium Phosphate* dan *Potassium Phospate* dengan Kapasitas Produksi 300.000 Ton/Tahun. **Tugas Akhir**. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Haryati, M., T. Purnomo dan S. Kuntjoro. 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L) Buch) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan yang Berbeda. **Lateral Bio**. Vol.1 No. 3.

Hemminga, M. A. and C. M. Duarte. 2000. **Seagrass Ecology**. Cambridge University Press. UK.

Herman, D. Z., 2006. Tinjauan terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd)

dari Sisa Pengolahan Bijih Logam. **Jurnal Geologi Indonesia**. Vol. 1 No.1 Maret 2006: 31-36.

Indrasti, N. S., Suprihatin, Burhanudin dan A. Novita. 2006. Penyerapan Logam Pb dan Cd oleh Eceng Gondok: Pengaruh Konsentrasi Logam dan Lama Waktu Kontak. **J. Tek. Ind. Pert.** Vol. 16(1), 44-50.

Khan, A. G. 2006. Mycorrhizoremediation-an Enhanced Form of Phytoremediation. **J. Zhejiang**. Univ. Science B7 (7): 503-514.

Kiswara, W., S. Rahmawati, H. Novianty dan A. R. Dzumalex. 2014. **Training Course in Seagrass Transplantation Methods**. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. Jakarta.

Kurtyka, R., Malkowski E., Kita A., and Karcz W. 2008. Effect of Calcium and Cadmium on Growth and Accumulation of Cadmium, Calcium, Potassium and sodium in Maize Seedlings. **Polish of Environ Study**. 17:51-56.

Lakitan, B. 2001. **Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan**. Raja Grafindo Persada. Jakarta.

Larkum, A. W. D., R. J. Orth and C. M. Duarte. 2006. **Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation**. Springer. Netherlands.

Leiwakabessy, F. 2005. Logam Berat di Perairan Pantai Pulau Ambon dan Korelasinya dengan Kerusakan Cangkang, Rasio Seks, Ukuran Cangkang kepada Individu dan Indeks Keragaman Jenis Siput Nerita (Neritidae: Gastropoda). **Tesis**. Program Pascasarjana Universitas Airlangga. Surabaya.

Leyval, C., E. J. Joner, V. C. Del, K. Haselwandter. 2002. **Potential of Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Bioremediation.** Mycorrhizal Technology in Agriculture. Burkhiluser Verlag. Switzerland.

Liu, X. P., Peng K. J., Wang A. G., Lian C. L. and Shen Z. G. 2010. Cadmium accumulation and Distribution in Populations of *Phytolacca Americana* L. and The Role of Transpiration. **Chemosphere.** 78:1136-1141.

Maier, E. A., R. D. Matthews, J. A. McDowell, R. R. Walden and B. A. Ahner. 2003. Environmental Cadmium Levels Increase Phytochelatin and Glutathionine in Lettuce Grown in a Chelator-Buffered Nutrient Solution. **J. Environ. Qual.** 32: 1356-1364.

Marschner, H. 1999. **Mineral Nutrition of Higher Plants.** Second Edition. Academic Press. California. USA.

Moenir, Misbachul. 2010. Kajian Fitoremediasi sebagai Alternatif Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat. **Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri.** Vol. 1 No. 2.

Mudjiman, A. 2004. **Makanan Ikan.** Edisi Revisi. Penebar Swadaya. Jakarta.

Nainggolan, Bonifasius M. H. 2009. Perbandingan Uji Tukey (Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) Dalam Uji Lanjut Data Rancangan Percobaan. **Majalah Ilmiah Panorama Nusantara Edisi VII,** Juli-Desember 2009

Nazar, R., N. Iqbal, A. Masood, M. I. R. Khan, S. Syeed dan N. A. Khan. 2012. Cadmium Toxicity in Plants and Role of Mineral Nutrients in Its Alleviation. **American J. Plant Sciences** 3: 1476-1489.

Nezon, E. dan Setiono. 2008. **Pedoman Umum Identifikasi dan Monitoring Lamun**. Departemen Kelautan dan Perikanan. Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Direktorat Konservasi dan Taman Nasional Laut.

Nordic. 2003. Cadmium Review. **Prepared by COWI A/S on Behalf of the Nordic Council of Ministers**. Denmark.

Palar, H. 2004. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Rineka Cipta. Jakarta.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang **Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air**.

Phillips, R. C. and N. A. Milchakova. 2003. **Seagrass Ecosystem**. A. O. Kovalevsky Institut of Biology of the Southern Seas. National Academy of Sciences of Ukraine. 574.5:582.271/275.

Prasad, M. N. V. 1997. **Plant Ecophysiology**. John Wiley & Sons, Inc. Canada.

Priyanto, B. dan Prayitno. 2007. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat. **Jurnal Informasi Fitoremediasi**.

Rismawati, S. I. 2011. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Zn Menggunakan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). **Tugas Akhir**. Progam Studi Biologi. Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Rosidah S., Y. U. Anggraito dan K. K. Pukan. 2014. Uji Toleransi Tanaman Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) terhadap Cekaman

Kadmium (Cd), Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Kultur Cair. **Jurnal MIPA**. 37 (1): 7-15

Rumahlatu, D., 2011. Konsentrasi Logam Berat Kadmium pada Air, Sedimen dan Deadema setosum (Echinodermata, Echinoidea) di Perairan Pulau Ambon. **Ilmu Kelautan Juni 2011**. Vol. 16 (2) 78-85.

Sambara, Z. R. 2014. Laju Penjalaran Rhizoma Lamun yang Ditransplantasi Secara Mutispecies Di Pulau Barrang Lompo. **Skripsi**. Jurusan Ilmu Kelautan. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Sarief, Saifuddin. 2010. **Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian**. **Pustaka Buana**. Jakarta.

Short, Frederick T. and Robert G. Coles. 2001. **Global Seagrass Research Methods**. Elsevier. Netherlands.

Suharno dan R. P. Sancayaningsih. 2013. Fungi Mikoriza Arbuskula: Potensi Teknologi Mikorizoremediasi Logam Berat dalam Rehabilitasi Lahan Tambang. **Bioteknologi** 10 (1): 31-42.

Suryani, E. dan S. Liong. 2003. Distribusi Kuantitatif Logam Berat Pb, Cd dan Cu dalam Sedimen di Sekitar Perairan Laut Dangkal Pulau Sumbawa. **Marina Chimica Acta 2003**, hal 2-5.

Susetiono. 2004. **Fauna Padang Lamun Tanjung Merah Selat Lembeh**. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. Jakarta.

Taiz, L and E. Zeiger. 2006. **Lecture Text Plant Physiology 4<sup>th</sup> Edition**. Sinauer Associates, Inc Publishers. Sunderland, MA. USA.

Tanzerina, N., Juswardi dan Fitrialia Elyza. 2013. Studi Adaptasi Anatomi Organ Vegetatif *Neptunia oleraceae* Lour Hasil Seleksi Lini pada Fitoremediasi Limbah Cair Amoniak. **Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung.**

Tejoyuwono, N. 2003. **Logam Berat dalam Pertanian.** Fakultas Pertanian. UGM. Yogyakarta.

Tistama, R. U. Widyastuti, D. Sopandie, A. Yokota, K. Akashi & Suharsono. 2012. Physiological and Biochemical Responses to Aluminium Stress in The Root of a Biodiesel Plant *Jatropha curcas* L. **Hayati** 19: 37-38.

Tjie Kok, 2013. Fitoremediasi Ion Kadmium dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Akumulasinya dalam Biomassa KulturTunas Musa Paradisiaca. **Seminar Nasional Sains & Teknologi V.** Lembaga Penelitian Universitas Lampung.

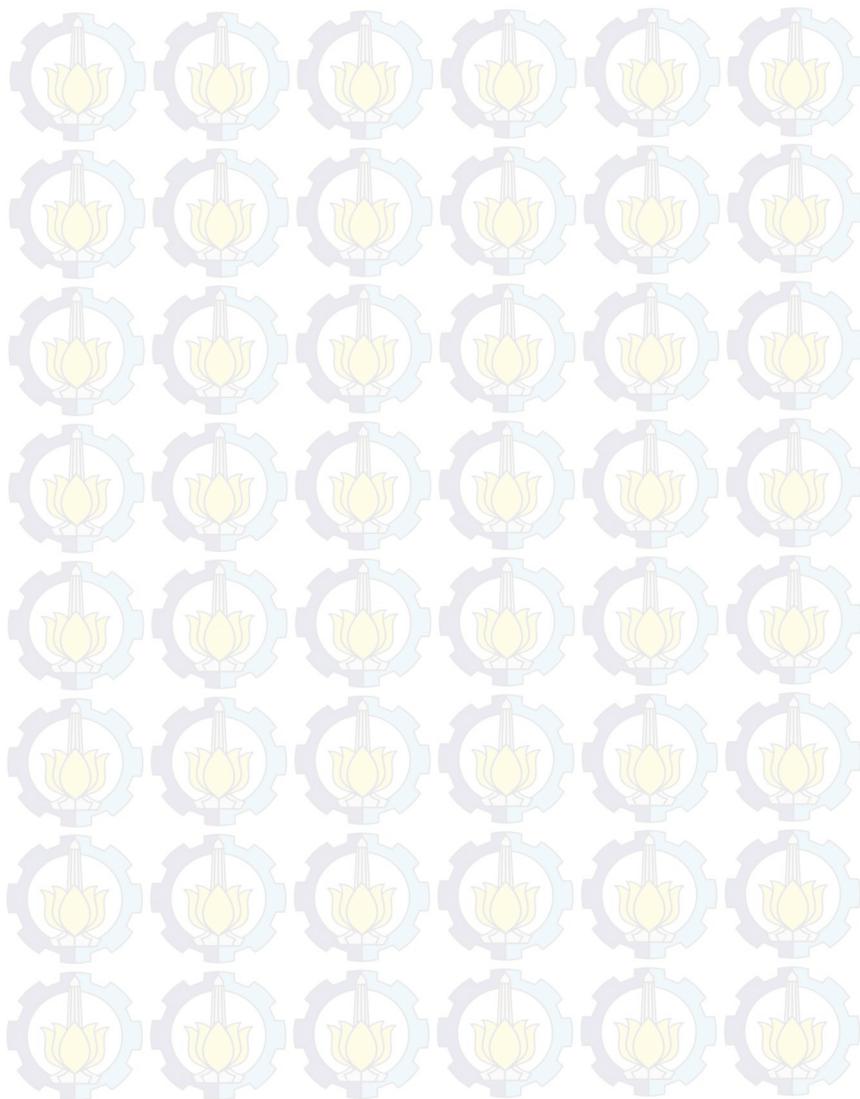
Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 tentang **Pengelolaan Lingkungan Hidup.**

Wang, M., J. Zou, X. Duan, W. Jiang and D. Liu. 2007. Cadmium Accumulation and its Effect on Metal Uptake in Maize (*Zea mays* L.). **Journal Bioresources Technology.** No. 98.

Waycott, Michelle, K. McMahon, J. Mellors, A. Calladine and D. Kleine. 2004. **A Guide to Tropical Seagrasses of the Indo-West Pacific.** James Cook University. Australia.

Zou, J. J. Yue, W. Jiang and D. Liu. 2012. Effect of Cadmium Stress on Root Tip Cells and Some Physiological Indexes in *Allium Cepa* var *Agrogarium* L. **Acta Bio Crac** 54: 129-141.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## Lampiran 1

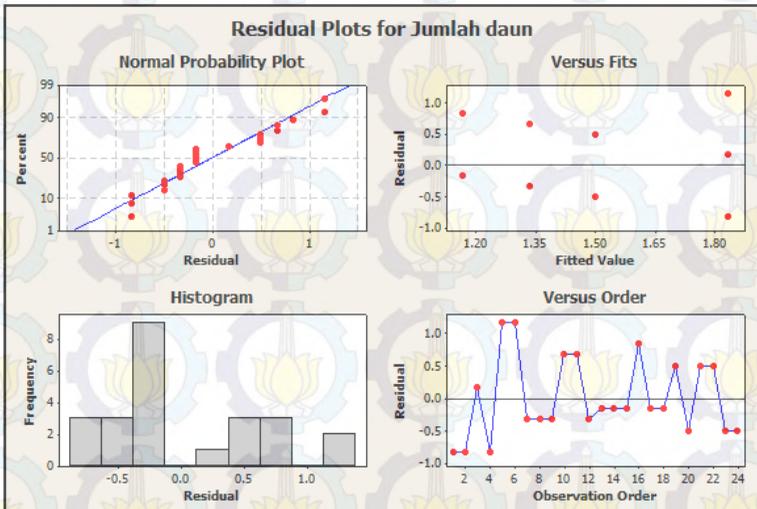
### Hasil Uji ANOVA Jumlah Daun

#### One-way ANOVA: Jumlah daun versus Perlakuan

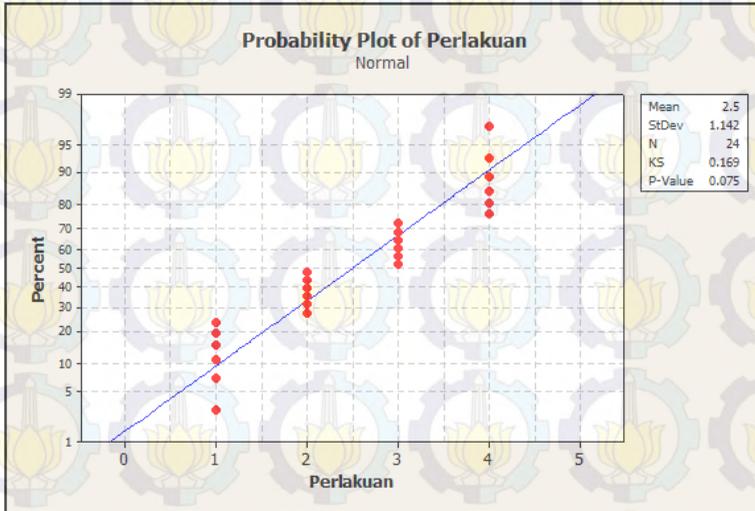
Source	DF	SS	MS	F	P
Perlakuan	3	1.458	0.486	1.14	0.356
Error	20	8.500	0.425		
Total	23	9.958			

S = 0.6519 R-Sq = 14.64% R-Sq(adj) = 1.84%

#### a. Uji Asumsi Residual



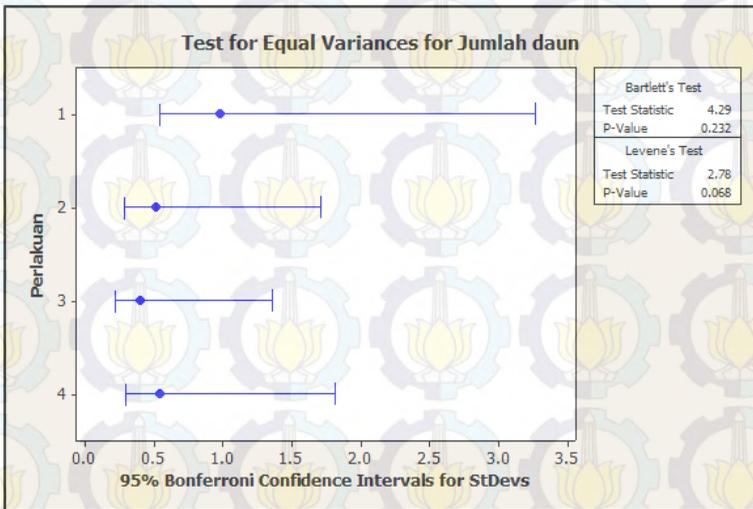
Grafik tidak berbentuk corong sehingga dapat dikatakan data homogen (asumsi terpenuhi).

**b. Uji Asumsi Normalitas**

$P = 0.075$

$P > 0.05$  berarti terjadi terima  $H_0$ . Jadi, data berasal dari sebaran distribusi normal (asumsi terpenuhi).

### c. Uji Asumsi Homogenitas



Berdasarkan uji asumsi normalitas maka data berasal dari distribusi normal sehingga uji asumsi homogenitas hanya melihat pada Bartlett's Test. Bartlett's Test menunjukkan nilai  $P = 0.232$ .  $P > 0.05$  maka terjadi gagal tolak  $H_0$  dan terima  $H_0$ . Jadi, data tersebut homogen (asumsi terpenuhi).

Hasil analisis ANOVA menunjukkan  $P = 0,356$  karena  $P > 0,05$  maka terjadi gagal tolak  $H_0$  dan terima  $H_0$  yang menunjukkan tidak memberikan pengaruh.

## Lampiran 2

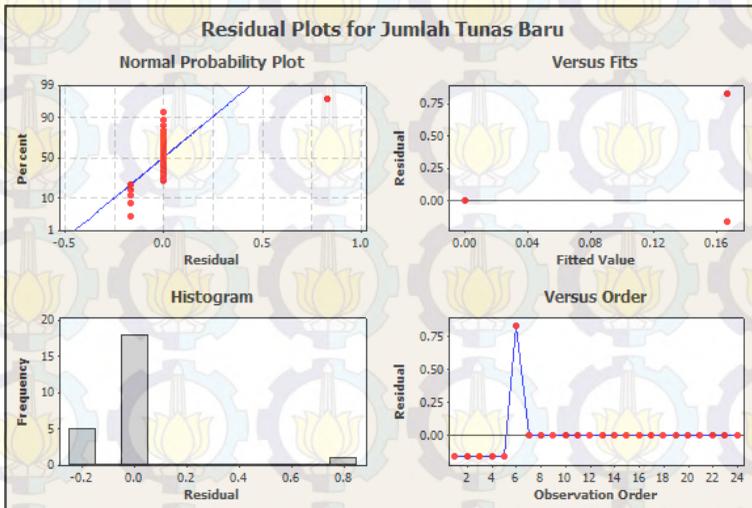
### Hasil Uji ANOVA Jumlah Tunas Baru

#### One-way ANOVA: Jumlah Tunas Baru versus Perlakuan

Source	DF	SS	MS	F	P
Perlakuan	3	0.1250	0.0417	1.00	0.413
Error	20	0.8333	0.0417		
Total	23	0.9583			

S = 0.2041 R-Sq = 13.04% R-Sq(adj) = 0.00%

#### a. Uji Asumsi Residual



Grafik berbentuk corong sehingga dikatakan data tidak homogen (asumsi tidak terpenuhi). Apabila terdapat asumsi

yang tidak terpenuhi maka dilanjutkan dengan uji analisis non parametrik Kruskal-Wallis.

### b. Uji Kruskal-Wallis

Kruskal-Wallis Test: Jumlah Tunas Baru versus Perlakuan

Kruskal-Wallis Test on Jumlah Tunas Baru

Perlakuan	N	Median	Ave Rank	Z
1	6	0.000000000	14.0	0.60
2	6	0.000000000	12.0	-0.20
3	6	0.000000000	12.0	-0.20
4	6	0.000000000	12.0	-0.20
Overall	24		12.5	

H = 0.36 DF = 3 P = 0.948

H = 3.00 DF = 3 P = 0.392 (adjusted for ties)

Hasil analisis menggunakan Kruskal-Wallis menunjukkan nilai  $P = 0,948$  sehingga  $P > 0,05$  maka terjadi gagal tolak  $H_0$ . Jadi, perlakuan tidak memberikan respon yang berbeda.

### Lampiran 3

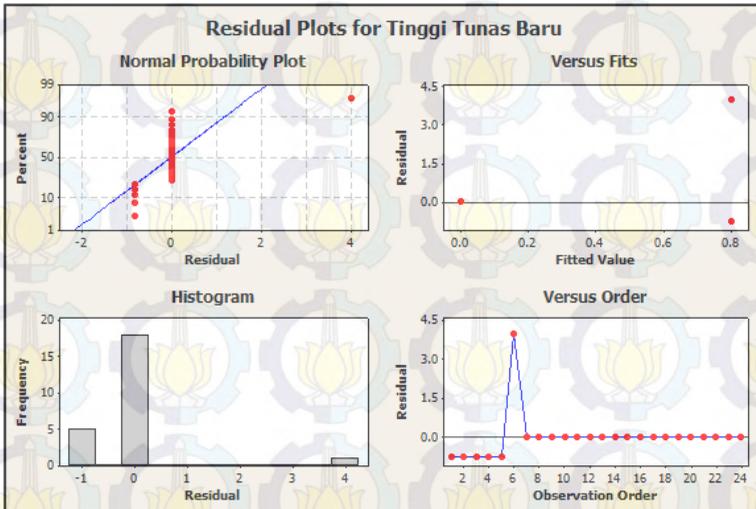
#### Hasil Uji ANOVA Tinggi Tunas Baru

##### One-way ANOVA: Tinggi Tunas Baru versus Perlakuan

Source	DF	SS	MS	F	P
Perlakuan	3	2.880	0.960	1.00	0.413
Error	20	19.200	0.960		
Total	23	22.080			

S = 0.9798 R-Sq = 13.04% R-Sq(adj) = 0.00%

#### a. Uji Asumsi Residual



Grafik berbentuk corong sehingga dikatakan data tidak homogen (asumsi tidak terpenuhi). Apabila terdapat asumsi yang tidak terpenuhi maka dilanjutkan dengan uji analisis non parametrik Kruskal-Wallis.

### b. Uji Kruskal-Wallis

#### Kruskal-Wallis Test: Tinggi Tunas Baru versus Perlakuan

#### Kruskal-Wallis Test on Tinggi Tunas Baru

Perlakuan	N	Median	Ave Rank	Z
1	6	0.000000000	14.0	0.60
2	6	0.000000000	12.0	-0.20
3	6	0.000000000	12.0	-0.20
4	6	0.000000000	12.0	-0.20
Overall	24		12.5	

H = 0.36 DF = 3 P = 0.948

H = 3.00 DF = 3 P = 0.392 (adjusted for ties)

Hasil analisis menggunakan Kruskal-Wallis menunjukkan nilai  $P = 0,948$  sehingga  $P > 0,05$  maka terjadi gagal tolak  $H_0$ . Jadi, perlakuan tidak memberikan respon yang berbeda.

## Lampiran 4

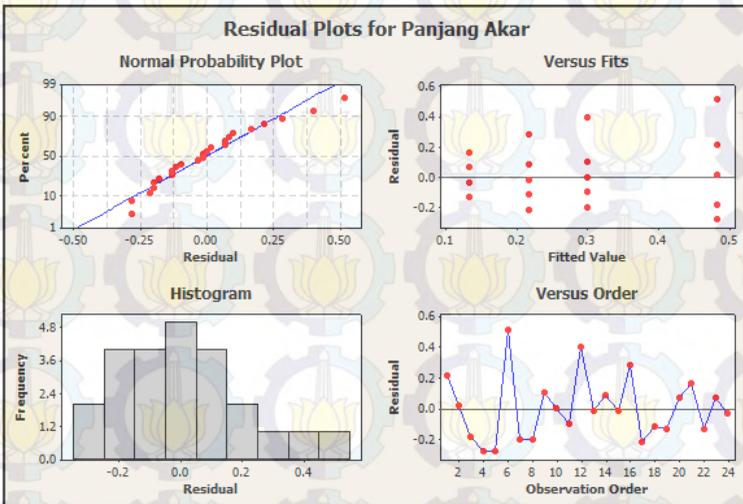
### Hasil Uji ANOVA Panjang Akar

#### One-way ANOVA: Panjang Akar versus Perlakuan

Source	DF	SS	MS	F	P
Perlakuan	3	0.4033	0.1344	2.72	0.072
Error	20	0.9900	0.0495		
Total	23	1.3933			

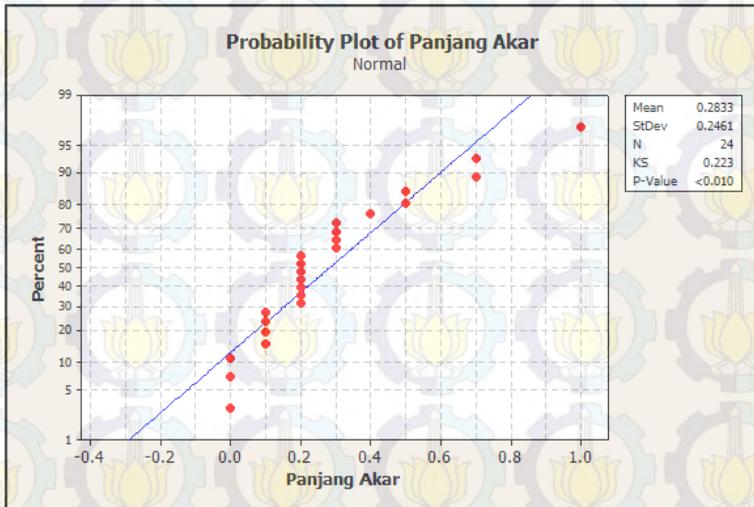
S = 0.2225 R-Sq = 28.95% R-Sq(adj) = 18.29%

#### a. Uji Asumsi Residual



Grafik tidak berbentuk corong maka data tersebut homogen (asumsi terpenuhi).

## b. Uji Asumsi Normalitas



$P < 0,010$

$P < 0,05$  berarti terjadi tolak  $H_0$  dan terima  $H_1$ . Jadi, data bukan berasal dari sebaran distribusi normal (asumsi tidak terpenuhi). Apabila terdapat asumsi yang tidak terpenuhi maka dilanjutkan dengan uji analisis non parametrik Kruskal-Wallis.

### c. Uji Kruskal-Wallis

Kruskal-Wallis Test: Panjang Akar versus Perlakuan

Kruskal-Wallis Test on Panjang Akar

Perlakuan	N	Median	Ave Rank	Z
1	6	0.4000	17.6	2.03
2	6	0.2500	13.3	0.33
3	6	0.2000	11.1	-0.57
4	6	0.1500	8.0	-1.80
Overall	24		12.5	

H = 5.85 DF = 3 P = 0.119

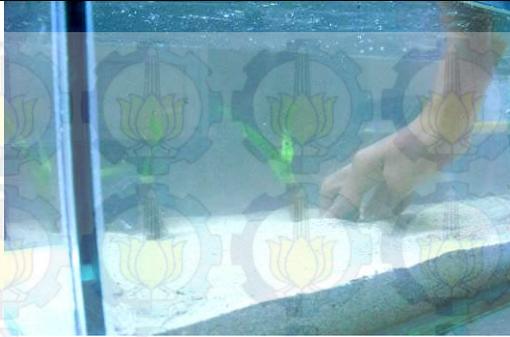
H = 6.07 DF = 3 P = 0.108 (adjusted for ties)

Hasil analisis menggunakan Kruskal-Wallis menunjukkan nilai  $P = 0,119$  sehingga  $P > 0,05$  maka terjadi gagal tolak  $H_0$ . Jadi, perlakuan tidak memberikan respon yang berbeda.

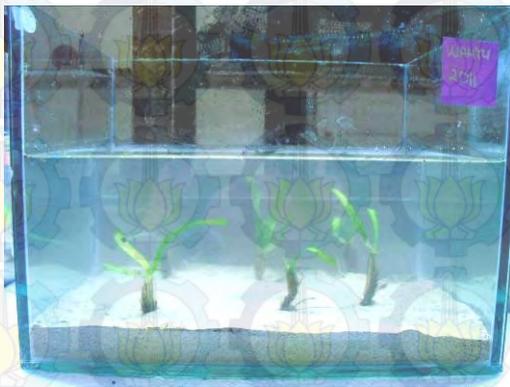


**Lampiran 6**

Foto	Keterangan
	Lokasi pengambilan sampel <i>T. hemprichii</i> : Pantai Bama, Taman Nasional Baluran, Situ-bondo, Jawa Timur.
	<i>T. hemprichii</i> diambil sebanyak 24 tunas.



Proses penanaman *T. hemprichii* di akuarium.



Kondisi *T. hemprichii* yang dikulturkan secara *in-vitro*.



*T. hemprichii* pada konsentrasi 0 ppm.



*T. hemprichii* pada konsentrasi 0,01 ppm.



*T. hemprichii* pada konsentrasi 0,05 ppm.



*T. hemprichii* pada konsentrasi 0,1 ppm.



Akar *T. hemprichii* dipanen dan dipotong.



**Proses Fiksasi:**

Potongan akar dimasukkan ke dalam botol berisi larutan FAA selama 24 jam.



**Proses Pencucian:**

Akar direndam menggunakan alkohol 70% selama 30 menit.



Kemudian potongan akar dipindahkan ke dalam alkohol 80% dan direndam selama 30 menit.



Setelah 30 menit, potongan akar dipindah ke dalam botol berisi alkohol 96% selama 30 menit.



Proses pencucian dilanjutkan menggunakan alkohol 100% sebanyak 2 kali selama 30 menit.



### **Proses Dehidrasi:**

Potongan akar dimasukkan ke dalam larutan dehidran I yang terdiri dari alkohol-butanol 3:1 selama 30 menit.



Dehidrasi menggunakan larutan dehidran II yang terdiri dari alkohol-butanol 1:1 selama 30 menit.

Dehidran III selama 30 menit yang terdiri dari alkohol-butanol 1:3.

Proses dehidrasi yang terakhir menggunakan larutan dehidran IV yang terdiri dari butanol. Perendaman ini dilakukan sebanyak 2 kali, masing-masing selama 30 menit.



Selanjutnya, potongan akar direndam dalam campuran butanol-parafin 1:9 dengan temperatur 57°C selama 24 jam.

#### **Proses Infiltrasi:**

Campuran butanol-parafin diganti dengan parafin murni pada temperatur 57°C selama 24 jam.

#### **Proses**

#### **Penyelubungan:**

Setelah 24 jam, maka parafin dibuang kemudian diganti dengan parafin yang baru. Setelah  $\pm$  1 jam kemudian dilanjutkan dengan membuat blok dan dipotong menggunakan *hand-microtom*.



**Proses Pewarnaan.**

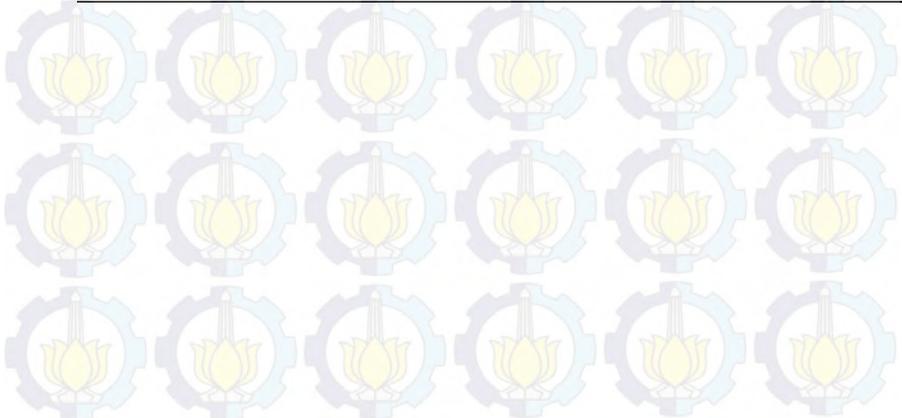
**Lampiran 7**

**Tabel Jumlah Daun pada Hari ke-30**

Hari ke	A0 (0 ppm)	A1 (0,01 ppm)	A2 (0,05 ppm)	A3 (0,1 ppm)
1	12	11	11	12
2	13	11	11	11
3	13	10	13	11
4	13	10	11	11
5	13	10	10	11
6	12	11	10	10
7	13	10	12	10
8	14	9	10	11
9	13	9	10	11
10	13	10	10	12
11	13	10	10	10
12	15	10	10	11

13	15	10	10	11
14	14	10	10	11
15	14	10	10	11
16	14	10	10	11
17	14	10	10	10
18	14	10	9	10
19	13	10	9	10
20	14	10	9	8
21	12	10	9	8
22	12	10	9	8
23	12	10	9	8
24	12	10	9	8
25	11	10	9	8
26	11	10	9	8
27	11	10	9	8
28	11	10	9	8
29	11	10	9	8
30	11	10	9	8

---



## Lampiran 8

Tabel Panjang Akar *T. hemprichii*

Tegakan	A0		A1		A2		A3	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
1	1.4	2.1	3.6	3.7	4	4.2	2.4	2.4
2	2.3	2.8	5.1	5.2	2.7	3	2.1	2.3
3	4	4.3	2	2.4	3.5	3.7	3	3.3
4	2.5	2.7	3	3.3	3.5	4	3.1	3.1
5	3.6	3.8	5.2	5.4	6	6	2.6	2.8
6	9.5	10.5	6.3	7	1.6	1.7	3.1	3.2

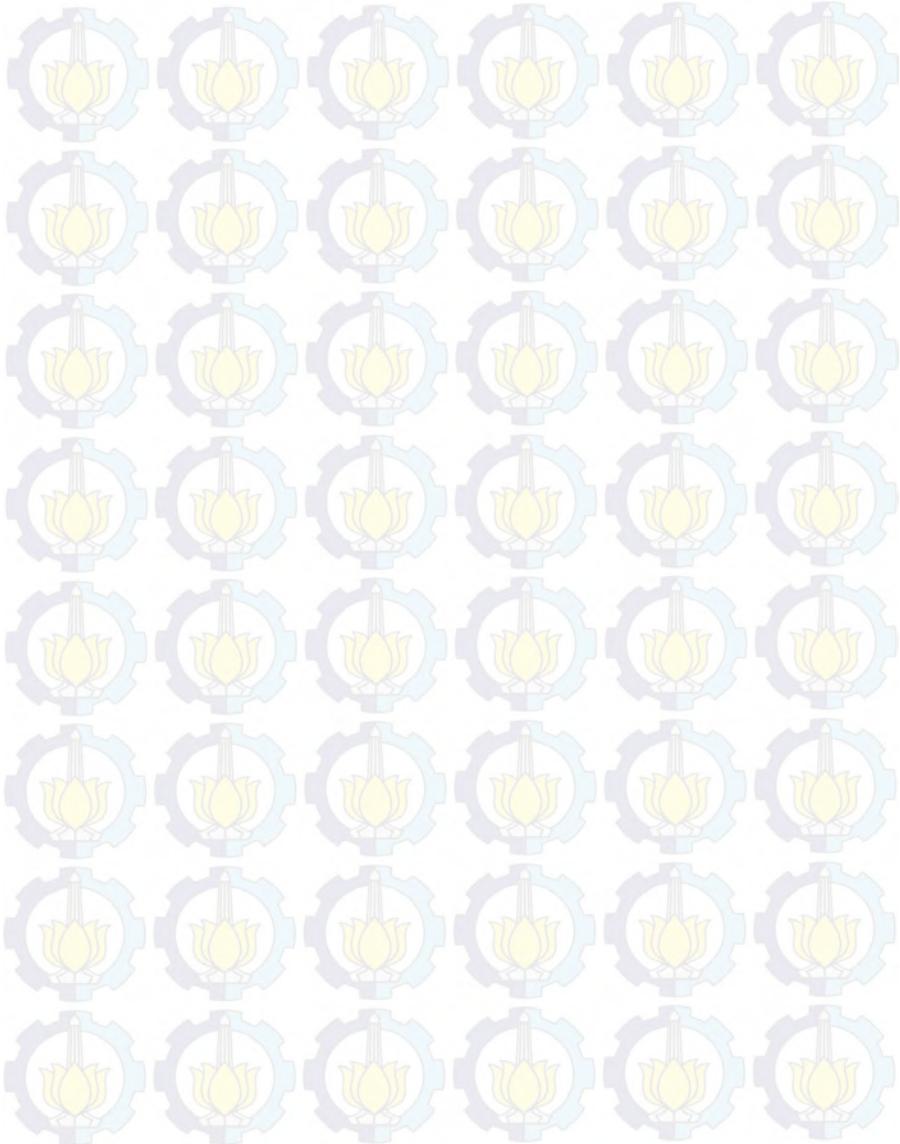
## Lampiran 9

Tabel Pertumbuhan Tinggi Tunas Baru

Hari ke	Tinggi Tunas Baru (cm)
1	1
2	1.1
3	1.2
4	1.2
5	1.3
6	1.4
7	1.5
8	1.7
9	1.8
10	1.9
11	2
12	2

		13	2.2		
		14	2.4		
		15	2.5		
		16	2.6		
		17	2.7		
		18	3		
		19	3.2		
		20	3.3		
		21	3.4		
		22	3.5		
		23	3.8		
		24	4		
		25	4.1		
		26	4.2		
		27	4.3		
		28	4.4		
		29	4.6		
		30	4.8		

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 24 November 1993. Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Kedurus 2 Surabaya dan kemudian melanjutkan pendidikan jenjang menengah pertamanya di SMPN 16 Surabaya. Setelah lulus dari SMP penulis melanjutkan pendidikannya di SMAN 13 Surabaya. Awalnya penulis tidak begitu tertarik pada pelajaran yang banyak membutuhkan kemampuan untuk menghafal. Sejak SD hingga SMP penulis lebih tertarik pada bidang sastra dan bidang yang membutuhkan ketelitian tinggi dalam menghitung. Ketertarikannya pada Biologi dimulai ketika mengambil bidang IPA saat SMA kemudian mengikuti olimpiade biologi pada saat duduk di bangku kelas X. Hal tersebut membuat penulis ingin lebih mendalami pengetahuan tentang Biologi khususnya Biologi Kelautan.

Setelah lulus dari SMA penulis kemudian melanjutkan studinya di Jurusan Biologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Ketertarikannya pada biologi kelautan membuat penulis kemudian memilih tema penelitian tentang *seagrass*. Penulis juga pernah menjadi salah satu anggota Surveryor Laboratorium Ekologi dimana penulis dapat memperdalam pengetahuannya mengenai sampling bioekologi. Selama kuliah penulis pernah menjadi asisten praktikum Biokimia, Fisiologi Hewan dan Perkembangan Tumbuhan. Untuk menyalurkan kegemarannya terhadap kegiatan selam penulis juga pernah bergabung dengan Unit Kegiatan Mahasiswa Olah Raga Air (UKM OR-AIR) ITS sebagai anggota pada divisi Selam.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

