

LAPORAN AKHIR TAHUN/ TAHUN TERAKHIR\*  
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI  
(PTUPT)

KCC  
KK  
LP 73/19  
Soe  
b



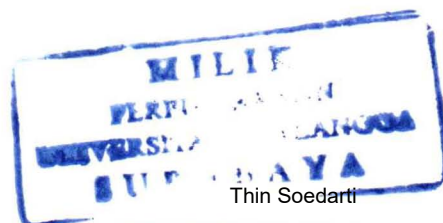
BIOREMEDIASI LOGAM BERAT DAN CAMPURANNYA OLEH  
DIATOM LAUT *Skeletonema* sp

TAHUN KE – 2 DARI RENCANA 2 TAHUN

Dra. TIHN SOEDARTI, CESA. 0020095704  
Prof. Dr. Ir. TINI SURTININGSIH, DEA 0010125104  
NUR I. OKTAVITRI S.T., M.T. 0001108301

DIBIYAI OLEH:  
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT  
DIREKTORAT JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN  
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
SESUAI DENGAN PERJANJIAN PENDANAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN  
KEPADA MASYARAKAT  
NOMOR: 122/SP2H/PTNBH/DRPM/2018

UNIVERSITAS AIRLANGGA  
NOVEMBER 2018



## HALAMAN PENGESAHAN

(R-Perpustakaan Universitas Airlangga)

Judul : BIOREMEDIASI LOGAM BERAT DAN  
CAMPURANNYAOLEH DIATOM LAUT Skeletonema  
sp

**Peneliti/Pelaksana**

Nama Lengkap : Dra THIN SOEDARTI, CESA  
Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga  
NIDN : 0020096704  
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala  
Program Studi : Biologi  
Nomor HP : 08123314047  
Alamat surel (e-mail) : thin-s@fst.unair.ac.id

**Anggota (1)**

Nama Lengkap : Dr. Ir TINI SURTININGSIH D.E.A  
NIDN : 0010125104  
Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga

**Anggota (2)**

Nama Lengkap : NUR INDRADEWI OKTAVITRI S.T, M.T  
NIDN : 0001108301  
Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga

**Institusi Mitra (jika ada)**

Nama Institusi Mitra : -  
Alamat : -  
Penanggung Jawab : -  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 110,000,000  
Biaya Keseluruhan : Rp 218,840,000



Mengetahui,  
Dekan FST Universitas Airlangga

(Prof. Win Darmanto, M.Si., Ph.D.)  
NIP/NIK 196106161987011001

Kota Surabaya, 13 - 11 - 2018  
Ketua,

(Dra THIN SOEDARTI, CESA)  
NIP/NIK 196709201992032001

Menyetujui,  
Ketua LPI Universitas Airlangga

(Prof. Hery Purnobasuki, Ph.D.)  
NIP/NIK 196705071991021001



## RINGKASAN

Pencemaran limbah yang mengandung logam berat, yaitu seperti Hg, Pb, dan Cd merupakan salah satu masalah yang dihadapi di semua negara, baik negara maju maupun negara berkembang. Karena logam berat tersebut mempunyai tingkat toksisitas dan kemampuan berakumulasi pada tubuh organisme yang dapat menimbulkan efek negatif pada kesehatan. Oleh karena itu pengolahan limbah Hg, Pb, Cd dan campurannya sangat penting. Pengolahan limbah Hg, Pb, Cd dan campurannya yang tidak mengakibatkan kerusakan lingkungan dan kematian biota di perairan yang telah tercemar umumnya menggunakan metode teknik bioremediasi.

Mikroalga merupakan mikroorganisme yang memiliki potensi untuk melakukan proses bioremediasi terutama di perairan yang tercemar logam berat. Salah satu mikroalga atau fitoplankton yang keberadaannya melimpah di alam yaitu *Skeletonema* sp. di perairan Laut Jawa pada umumnya dan perairan Pamurbaya (Pantai Timur Surabaya) pada khususnya. *Skeletonema* sp. diketahui memiliki kemampuan dalam bioremediasi logam berat yang mampu mengakumulasi logam berat dengan menghasil metalotionin untuk mengikat ion logam berat menjadi unsur yang stabil. Pemanfaatannya sebagai bioremediasi memiliki dua manfaat besar: menambah nilai ekonomis perairan Pamurbaya dan menanggulangi masalah lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran logam berat.

Tujuan jangka panjang yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah dihasilkannya bahan remediasi dari *Skeletonema* sp. yang mudah didapat di Indonesia, khususnya dari Laut Jawa, sehingga akan meningkatkan daya saing negara kita. Target khusus dalam jangka pendek adalah dihasilkannya bahan remediasi logam berat dan campurannya dari *Skeletonema* sp. yang melimpah.

Penelitian terbagi atas 2 tahap. Tahap pertama adalah studi kemampuan *Skeletonema* sp. dalam melakukan bioremediasi logam berat dan campurannya pada berbagai konsentrasi secara *ek-situ* dan *in situ*. Tahap kedua adalah studi kemampuan *Skeletonema* sp. yang diimobilisasi dengan silika gel untuk bioremediasi logam berat dan campurannya pada berbagai konsentrasi secara *ek-situ* dan *in situ*.

**Katakunci:** bioremediasi; logam berat dan campurannya; *Skeletonema* sp.

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulisan laporan kemajuan penelitian ini dapat terselesaikan. Laporan kemajuan ini berisi hasil sementara dari percobaan-percobaan pada tema penelitian bioremediasi logam berat dan campurannya oleh diatom laut *Skeletonema* sp. Ucapan terimakasih penulis haturkan kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian sampai dengan penyusunan laporan kemajuan.

Penulis menyadari adanya kekurangan-kekurangan yang terdapat di dalam laporan ini sehingga saran konstruktif sangat diharapkan untuk penulisan laporan.

Surabaya, 15 November 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan.....	ii
Ringkasan.....	iii
Prakata.....	iv
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar .....	vi
Bab I Pendahuluan.....	1
Bab II Tinjauan Pustaka.....	3
Bab III Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	8
Bab IV Metode Penelitian.....	9
Bab V Hasil dan Luaran Yang Dicapai.....	11
Bab VI Kesimpulan dan Saran.....	28
Daftar Pustaka.....	29
Lampiran	

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Skema umum mekanisme detoksi fikasi logam berat oleh metalotionin Kelas III (MtIII) dalam mikroalga
- Gambar 2. Grafik efisiensi penyerapan logam Hg oleh *Skeletonema* sp imobil di limbah sintetik Hg.
- Gambar 3. Grafik efisiensi penyerapan logam Pb oleh *Skeletonema* sp imobil di limbah sintetik Pb
- Gambar 4. Grafik efisiensi penyerapan logam Cd oleh *Skeletonema* sp imobil di limbah sintetik Cd
- Gambar 5. Grafik efisiensi penyerapan logam Hg oleh *Skeletonema* sp imobil di limbah galvanis
- Gambar 6. Grafik efisiensi penyerapan logam Pb oleh *Skeletonema* sp imobil di limbah galvanis
- Gambar 7. Grafik efisiensi penyerapan logam Cd oleh *Skeletonema* sp imobil di limbah galvanis

## BAB I PENDAHULUAN

**MILIK  
PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA**

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran air oleh limbah logam berat merupakan salah satu masalah lingkungan yang dewasa ini dihadapi oleh manusia. Limbah logam berat menurunkan kualitas air pada badan air dan berdampak negatif terhadap biota dan manusia. Dampak negatif yang ditimbulkan merupakan fungsi dari mobilitas dan toksisitas dari logam berat; logam berat seperti Hg (merkuri), Pb (timbal), dan Cd (kadmium) memiliki kemampuan untuk terakumulasi pada biota; toksisitas dari logam berat bervariasi antar logam berat, logam berat seperti Hg, Pb, dan Cd memiliki toksisitas yang berbahaya terhadap biota. Limbah Hg dapat dihasilkan oleh industri cat dan kertas (Darmono, 2008). Tragedi Minamata merupakan suatu referensi standar yang menggambarkan dampak negatif yang diakibatkan oleh Hg yang dibuang ke badan air. Limbah Pb dapat ditemukan pada industri pelapisan logam dan baterai (Darmono, 2008). Masalah kesehatan yang ditimbulkan oleh Pb antara lain adalah gangguan syaraf, ginjal, sistem hormon. Limbah Cd dapat dihasilkan oleh industri pembuatan plastik dan industri *electroplating*. Cd dapat merusak ginjal, paru-paru, darah, dan jantung (Palar, 2008).

Pencemaran air merupakan suatu konsekuensi logis dari pertumbuhan jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan akan barang. Hal penting yang dapat dilakukan adalah upaya perlindungan terhadap lingkungan. Pemerintah telah mengeluarkan PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Berbagai macam cara dilakukan dalam mengatasi bahaya pencemaran di perairan akibat logam berat. Salah satunya dengan teknik remediasi yaitu mengubah logam berat menjadi suatu unsur yang tidak berbahaya. Teknik remediasi yang sering dilakukan secara kimia ternyata kurang efektif karena bahan pencemar hanya akan berpindah tempat. Saat ini teknik bioremediasi mulai dikembangkan yaitu menggunakan unsur biologi sebagai agen bioremediator. Teknik bioremediasi saat ini dikembangkan karena tidak mengakibatkan kerusakan lingkungan seperti kerusakan dan kematian biota di perairan yang telah tercemar. Selain itu kajian lain ditemukan bahwa alga mampu menjadi agen bioremediasi. Menurut Fauziah (2011), mikroalga spesies *Scenedesmus dimorphus* memiliki kemampuan sebagai agen bioremediasi dengan menyerap logam berat yaitu Cd sebesar 65,91% pada konsentrasi 5 ppm. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa mikroalga merupakan mikroorganisme yang memiliki potensi untuk melakukan proses bioremediasi terutama di

perairan yang tercemar logam berat. Salah satu mikroalga atau fitoplankton yang keberadaannya melimpah di alam yaitu *Skeletonema* sp. Fitoplankton tersebut masuk kedalam kelompok diatom yang merupakan mikroalga uniseluler dengan distribusi yang sangat universal di semua tipe perairan (Basmi, 1999). *Skeletonema* sp. diketahui memiliki kemampuan dalam bioremediasi logam berat yang mampu mengakumulasi logam berat kadmium dengan menghasil metalotionin untuk mengikat ion  $Cd^{2+}$  menjadi unsur yang stabil (Nassiri, 1997).

Imobilisasi adalah teknik mempertahankan sel mikroorganisme dalam matriks yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi kerja mikroorganisme tersebut dan juga sebagai katalis makroskopik yang dapat dipergunakan berulang kali dalam berbagai jenis konfigurasi bioreaktor.

Berdasarkan latar belakang di atas, perlu dikaji lebih mendalam mengenai kemampuan *Skeletonema* sp. tumbuh pada medium yang menganung logam berat kadmium, konsentrasi kadmium yang mulai menghambat populasi mikroalga *Skeletonema* sp. dan maksimum konsentrasi kadmium yang mampu diremediasi oleh mikroalga *Skeletonema* sp.

## 1.2 Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Apakah *Skeletonema* sp. imobil pada natrium alginat mampu menyisihkan Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) pada konsentrasi tertinggi (2 ppm)?
2. Berapakah efisiensi penyisihan maksimum Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) dengan menggunakan *Skeletonema* sp. imobil?
3. Berapakah lama waktu kontak *Skeletonema* sp. imobil yang menghasilkan efisiensi penyisihan logam Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) paling tinggi?
4. Berapakah efisiensi penyisihan logam Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) oleh *Skeletonema* sp. imobil?
5. Berapakah efisiensi penyisihan Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) yang maksimum pada limbah galvanisasi dengan menggunakan *Skeletonema* sp. imobil?



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



## 2.1 Merkuri (Hg), Kadmium (Cd), dan Timbal (Pb)

Urutan toksisitas logam berat menurut Waldichuck (1974), yaitu  $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$ . Berdasarkan hal tersebut Hg, Cd, dan Pb dikenal sebagai triotoksik, yaitu yang memiliki tingkat toksisitas yang tinggi terhadap makhluk hidup. Hg, Cd dan Pb sebagai limbah dapat dijumpai sebagai hasil dari kegiatan manusia seperti pada dok kapal, industry baterai, pertambangan emas tradisional, limbah industri batik, dan lain-lain (Agustina dkk, 2011).

Merkuri merupakan logam dengan bobot atom 200,59 dan berwujud cair pada suhu ruang. Merkuri digunakan dalam industri klor-alkali, thermometer, lampu, fungisida, industry kertas (Palar,2008). Merkuri dilaporkan sebagai logam yang memiliki pengaruh yang negative terhadap makhluk hidup. Zhu *et al.* (2000) meneliti tentang adanya kerusakan sistem hormone (*endocrine disruptive*) pada hewan yang disebabkan oleh merkuri.

Kadmium merupakan suatu logam dengan bobot atom 112,40 gram permol. Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang banyak digunakan diberbagai kegiatan industri pelapisan logam, industry baterai nikel-kadmium, industry cat, industry PVC atau plastic dan industry lainnya (Mohsin,2006). Cd dapat merusak ginjal, paru-paru, darah, dan jantung (Palar, 2008), karena ion logam kadmium berikatan secara kovalen dan mempunyai afinitas yang tinggi terhadap gugus tiol, mendorong peningkatan kelarutan lemak sehingga dapat terakumulasi dan bersifat racun (Moore dan Ramamoorthy,1984).

Timbal merupakan logam dengan bobot atom 207,2. Logam ini digunakan pada industry baterai, pelapisan logam, industry keramik (Palar,2008). Ahamed dan Siddiqui (2007) menyatakan bahwa pengaruh toksisitas timbal pada kesehatan adalah kerusakan syaraf, resiko kanker, resiko kanker, anemia, kelahiran yang tidak sempurna, pertumbuhan yang terlambat. Garcia-Leston *et al.* (2010) menyatakan, bahwa timbale menyebabkan kerusakan gen. *Agency for Research on Cancer* mengklasifikasikan timbale sebagai *possibl ehuman carcinogen*.

## 2.2 Metode Pengolahan Limbah Logam Berat

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengolah limbah logam berat. Bioremediasi merupakan suatu proses yang menggunakan rganism sebagai agen degradasi secara biologi (Jamil, 2001). Menurut Priadie (2012), bioremediasi merupakan penggunaan

organism yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut. Jadi secara umum bioremediasi dimaksudkan untuk menyelesaikan masalah-masalah lingkungan atau untuk menghilangkan senyawa yang tidak diinginkan dari tanah, lumpur, air tanah atau air permukaan sehingga lingkungan tersebut kembali bersih dan alamiah. Bioremediasi merupakan hasil pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran dan cukup menarik serta hemat biaya. Pada dasarnya ada dua proses dalam teknologi bioremediasi yang telah dikembangkan yaitu proses bioremediasi *in-situ* dan *ex-situ*. Menurut Jamil (2001), bioremediasi *in-situ* merupakan proses remediasi yang mengolah air atau tanah yang tercemar di tempatnya, sedangkan proses bioremediasi *ex-situ* merupakan proses remediasi yang memindahkan air atau tanah yang tercemar ke tempat lain sebelum perlakuan.

Ada dua macam tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi yaitu tanaman tingkat tinggi dan rendah (Jamil, 2001). Saat ini, teknik bioremediasi dengan menggunakan tanaman tingkat rendah sedang dikembangkan. Salah satunya pemanfaatan fitoplankton agen bioremediator menyatakan bahwa pengaruh toksisitas timbal pada kesehatan adalah kerusakan syaraf, resiko kanker, anemia, kelahiran yang tidak sempurna, pertumbuhan yang terlambat. Garcia-Leston *et al.* (2010) menyatakan, bahwa timbale menyebabkan kerusakan gen. *Agency for Research on Cancer* mengklasifikasikan timbale sebagai *possible human carcinogen*.

Kadmium merupakan suatu logam dengan bobot atom 112,40 gram permol. Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang banyak digunakan diberbagai kegiatan industri pelapisan logam, industri baterai nikel-kadmium, industri cat, industri PVC atau plastic dan industri lainnya (Mohsin,2006). Cd dapat merusak ginjal, paru-paru, darah, dan jantung (Palar,2008), karena ion logam kadmium berikatan secara kovalen dan mempunyai afinitas yang tinggi terhadap gugus tiol, mendorong peningkatan kelarutan lemak sehingga dapat terakumulasi dan bersifat racun (Moore dan Ramamoorthy,1984).

## 2.2 Metode Pengolahan Limbah Logam Berat

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengolah limbah logam berat. Bioremediasi merupakan suatu proses yang menggunakan organism sebagai agen degradasi secara biologi (Jamil, 2001). Menurut Priadie (2012), bioremediasi merupakan penggunaan organism yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut. Jadi secara umum bioremediasi dimaksudkan

untuk menyelesaikan masalah-masalah lingkungan atau untuk menghilangkan senyawa yang tidak diinginkan dari tanah, lumpur, air tanah atau air permukaan sehingga lingkungan tersebut kembali bersih dan alamiah. Bioremediasi merupakan hasil pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran dan cukup menarik serta hemat biaya. Pada dasarnya ada dua proses dalam teknologi bioremediasi yang telah dikembangkan yaitu proses bioremediasi *in-situ* dan *ex-situ*. Menurut Jamil (2001), bioremediasi *in-situ* merupakan proses remediasi yang mengolah air atau tanah yang tercemar di tempatnya, sedangkan proses bioremediasi *ex-situ* merupakan proses remediasi yang memindahkan air atau tanah yang tercemar ke tempat lain sebelum perlakuan.

Ada dua macam tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi yaitu tanaman tingkat tinggi dan rendah (Jamil, 2001). Saat ini, teknik bioremediasi dengan menggunakan tanaman tingkat rendah sedang dikembangkan. Salah satunya pemanfaatan fitoplankton agen bioremediator.

### 2.3. Mekanisme Bioremediasi

Proses bioremediasi logam berat umumnya terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses pengambilan aktif (*active uptake*) dan penyerapan pasif (*passive uptake*) (Fardiaz, 1992). *Passive uptake* merupakan proses yang terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, cara pertama adalah pertukaran ion monovalen dan divalent seperti Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat. Cara kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan *functional groups* seperti karbonil, amino, tiol, hidroksi, pospat dan hidroksi karboksil yang berada pada dinding sel. Proses ini bersifat bolak-balik dan cepat. Sedangkan *active uptake* dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme dan akumulasi intraseluler ion logam tersebut. Logam berat juga dapat diendapkan pada proses metabolisme dan ekskresi pada tingkat kedua. Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses *Passive uptake* pH dan kehadiran ion-ion lainnya. Sedang faktor-faktor yang berpengaruh pada proses *active uptake* adalah pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, dan cahaya (Suhendrayatna, 2011).

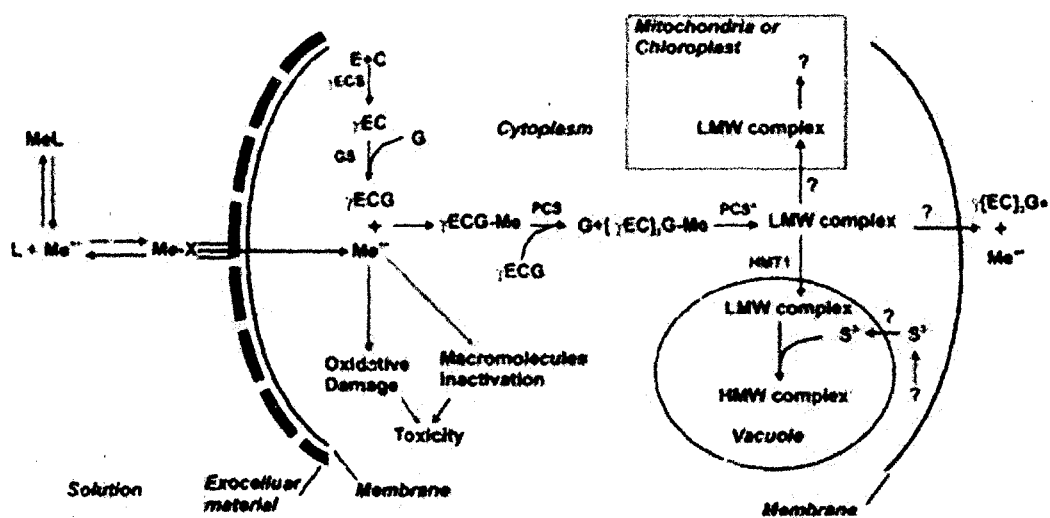
## 2.4 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang fitoplankton telah dilakan dalam kurun waktu 2000–2009, yaitu tentang panjang gelombang serapan dan pantulan fitoplankton terutama Diatom laut (Soedarti dkk.,2000), media kultur Diatom laut *Skeletonema sp.* (Soedarti dkk.,2009), serta pengaruh logam berat Cd terhadap pertumbuhan diatom laut *Coscinodiscus sp* (Soedarti dkk., 2007). Hasil yang didapat adalah bahwa fitoplankton mempunyai panjang gelombang serapan dan pantulan spesifik sehingga dapat diukur secara optik, fitoplankton kelompok Diatom laut, *Skeletonema sp.* dapat tumbuh optimum pada media XMU, pH 7,8-8, suhu 250C–270C dan pada intensitas cahaya 6000 lux (Soedarti dkk., 2009). Selain itu diketahui pula bahwa fitoplankton kelompok Diatom laut, yaitu *Coscinodiscus sp.* tersebut mengalami penurunan pertumbuhan pada cadmium (Soedarti dkk., 2007).

Fitoplankton adalah organism yang hidup melayang atau mengambang di laut. Menurut habitatnya, fitoplankton dibagi menjadi dua jenis yaitu fitoplankton air tawar dan fitoplankton air laut. Salah satu contoh fitoplankton air laut adalah *Skeletonema sp.* yang keberadaannya melimpah dialam. Fitoplankton tersebut masuk ke dalam kelompok diatom yang merupakan mikroalga uniseluler yang merupakan organisme fotosintetik dengan distribusi yang sangat universal di semua tipe perairan (Nybakken dan Bertness, 2005). Menurut Nassiri *et al.* (1997), mikroalga tersebut mampu mengabsorbsi logam berat yang akan diikat oleh fito kelatin. Kemudian zat ini akan terakumulasi di vakuola. Ahner *et al.* (1995) menyatakan bahwa fitokelatin mengikat unsur logam berat bermuatan positif menjadi unsur yang stabil di lingkungan alaminya.

Penelitian Soedarti dkk. (2007) menunjukkan bahwa pertumbuhan maksimum *Coscinodiscus sp.* pada perlakuan kontrol terjadi pada hari ke-3 dengan kepadatan sel  $127 \pm 28 / 100$  mL, sedangkan pada kultur yang dipaparkan  $Cd^{2+}$  40 ppb pertumbuhannya menurun 78,93% berdasarkan kepadatan selnya dan menurun 70,67% berdasarkan konsentras klorofil-a, karena semakin tinggi konsentrasi logam dalam medium kultur semakin lambat pembelahan sel terjadi. Soedarti *et al.* (2016<sup>a</sup>) menyatakan, bahwa pertumbuhan optimum *Skeletonema costatum* dengan inokulasi  $10 \times 10^3$  sel/ml yang dipapar  $Hg^{2+}$  0,5 ppm dicapai pada hari ke-3 dengan jumlah populasi  $1,21 \times 10^5$  sel/mL. Sedang kemampuan maksimum *Skeletonema costatum* menyerap  $Hg^{2+}$  yaitu  $1,72 \pm 0,01$  ppm (inokulasi  $15 \times 10^3$  sel/mL pada media yang terpapar 2 ppm merkuri di hari ketiga). Selain itu *Skeletonema costatum* tumbuh paling tinggi pada innokulasi  $15 \times 10^3$  sel/mL di hari kedua di media yang terpapar

2 ppm  $Pb^{2+}$  yaitu dengan kepadatan populasi  $8,93 \times 10^4$  sel/mL dan kemampuan *Skeletonema costatum* menyerap  $Pb^{2+}$  maksimum pada inokulasi  $15 \times 10^3$  sel/mL di media yang terpapar 2 ppm  $Pb^{2+}$  di hari kelima, yaitu sebesar  $1.05 \pm 0.05$  ppm (Soedarti *et al.*, 2016<sup>b</sup>). Sedangkan pemaparan campuran logam  $Pb^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$  menunjukkan penurunan populasi *Chaetoceros calcitran*, dimana penambahan logam pada konsentrasi tertentu mengakibatkan penurunan kerapatan sel. Hal ini serupa dengan hasil penyerapan logam tunggal masing-masing untuk  $Pb^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$  (Hala dkk., 2012). Menurut Nassiri *et al.* (1997) penelitian yang dilakukan di India menunjukkan bahwa *Skeletonema sp.* digunakan sebagai studi mekanisme detoksifikasi ketika *Skeletonema sp.* Dimasukkan kedalam kontaminasi yang mengandung Cd dan Cu. Hasil lain menunjukkan bahwa alga hijau *T. Suecica* mengakumulasi logam  $Cd^{2+}$  dalam vakuola dan dinding sel. Selain itu akumulasi logam berat juga terjadi dalam kloroplas dan mitokondria. Selanjutnya, kompleks logam berat dan MtIII dapat ditranspor ke organela lain (bukan organela yang mengakumulasi logam berat) atau menetap ke organela tempat akumulasi logam berat (Perales-Vela *et al.*, 2006). Mekanisme ini bias dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema umum mekanisme detoksifikasi logam berat oleh metalotionin Kelas III (MtIII) dalam mikroalga (Perales-Vela *et al.*, 2006)

## BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

### 3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kemampuan *Skeletonema* sp. imobil menyisihkan Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) pada konsentrasi tertinggi (2 ppm)
2. Mengetahui efisiensi penyisihan maksimum logam Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) dengan *Skeletonema* sp. imobil.
3. Mengetahui lama waktu kontak *Skeletonema* sp. imobil yang menghasilkan efisiensi penyisihan logam Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) paling tinggi.
4. Mengetahui efisiensi penyisihan logam Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) oleh *Skeletonema* sp. imobil.
5. Mengetahui efisiensi penyisihan Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) yang maksimum pada limbah galvanisasi dengan menggunakan *Skeletonema* sp. imobil.





#### 4.1 Prosedur Penelitian Tahun II

Prosedur penelitian tahun II meliputi: persiapan imobilisasi *Skeletonema* sp., penerapan uji *Skeletonema* sp imobilisasi dengan logam berat tunggal dan campurannya secara *ex-situ* dan *in-situ* (limbah galvanisasi).

**Persiapan media kultur** dibuat dari supernatan air tanah laut sebanyak 15 mL dicampur dengan air garam ( $\text{KNO}_3$  400 mg,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  40 mg,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  20 mg, dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14 mg), dan air laut artifisial 1000 mL, kemudian di *stirer*  $\pm$  10 menit, diukur pH-nya  $\pm$  7,8-8, ditutup dengan kapas dan aluminium foil supaya tidak terkontaminasi, lalu disterilisasi dengan *autoclave* pada suhu  $121^\circ\text{C}$  selama 15 menit (Soedarti, dkk., 2005). Dan **pembuatan supernatan air tanah laut**, yaitu tanah laut 1 kg dicampur dengan 1000 mL akuades kemudian direbus sampai mendidih kurang lebih 60 menit. Lalu diendapkan selama  $\pm$  2 hari dan setelah itu disaring dengan kertas saring. Setelah supernatannya didapat, disimpan di tempat dingin (Sharma, 1986 dan Soedarti dkk., 2005).

**Persiapan *Skeletonema* sp.** *Skeletonema* sp. didapat dari Balai Budidaya Air Payau (BPAP) Situbondo Jawa Timur.

**Pengkulturan *Skeletonema* sp.** botol kultur berisi 1000 mL yang sudah diberikan media Conwy. Agar dapat tumbuh dengan baik, penempatan wadah kultur harus cukup mendapatkan cahaya, yaitu dengan menggunakan lampu TL 40 watt (=6000 lux) dengan suhu  $25^\circ\text{C}$  -  $27^\circ\text{C}$  (Soedarti dkk., 2005). Setiap hari kultur diamati pertumbuhannya dengan menghitung jumlah sel/mL untuk mengetahui **karakterisasi fase pertumbuhannya**.

**Tahap perlakuan** digunakan larutan logam berat berkonsentrasi 0,5, 1, dan 2 ppm, masing-masing konsentrasi sebanyak 3000 mL yang dimasukkan ke dalam 12 botol kultur sebanyak 150 mL, kemudian ditambahkan biakan *Skeletonema* sp. yang diimobilisasi. Sebanyak 5.000 sel/mL (5 botol), 10.000 sel/mL (5 botol), dan 15.000 sel/mL (5 botol), sedang untuk kontrol empat (5) botol hanya berisi biakan Natrium alginate yang diberi logam berat.

**Penentuan konsentrasi natrium alginat dengan 0,55%** (Gayo, 2016). Konsentrasi tersebut diberikan setiap waktu kontak perlakuan. Variasi konsentrasi natrium alginat akan menghasilkan perbedaan konsentrasi penyisihan logam berat. Natrium alginat dalam bentuk bubuk ditimbang sebanyak 0,55 g, 0,6 g dan 0,65 g, yang kemudian dilarutkan dalam 100 ml air akuades.

**Pembuatan beads *Skeletonema sp.* dalam natrium alginate** dengan variasi konsentrasi 0,55%; 0,60%; dan 0,65% dicampurkan dengan *Skeletonema sp.* dengan jumlah yang sesuai kebutuhan. Selanjutnya, alginat dan *Skeletonema sp.* yang telah tercampur diteteskan ke dalam larutan CaCl<sub>2</sub> untuk membentuk manik-manik gel menggunakan pipet tetes (Kurniawan dan Gunarto, 2015). Beads yang sudah jadi, disaring terlebih dahulu untuk memisahkan larutan CaCl. Beads tersebut kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca 350 ml yang telah berisi limbah cair galvanisasi 10 mL, kemudian ditambahkan air laut hingga volumenya 250 mL.

**Data kemampuan bioremediasi logam berat** dilakukan dengan cara masing-masing sampel pada hari ke-2, 3, 4, dan 5 diambil sebanyak 10 mL dari media pertumbuhannya dengan cara sentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 5 menit, sehingga diperoleh filtrate dan supernatant, kemudian dianalisis kandungan logam beratnya dengan AAS agar diketahui konsentrasi logam berat yang masih tersisa di dalam media (Hala dkk, 2012).

Perhitungan konsentrasi logam berat yang terserap menggunakan metode Langmuir (Hala, dkk.,2012), yaitu menghitung efisiensi penyerapan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_s = C_0 - C_f$$

$$E_p = \frac{C_s}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan:

$E_p$  = Efisiensi penyerapan (%)

$C_s$  = Konsentrasi logam terjerap (mg/L)

$C_0$  = Konsentrasi logam sebelum kontak (mg/L)

$C_f$  = Konsentrasi logam setelah kontak (dalam filtrat) (mg/L)

**Analisis data** yang diperoleh berupa konsentrasi logam berat kadmium yang diserap oleh sel *Skeletonema sp.* yang diimobilisasi. Data tersebut diuji F multivarian dengan  $\alpha = 0,05$  untuk mengetahui beda pertumbuhan dan penyerapan logam berat oleh *Skeletonema sp.* pada perlakuan kombinasi konsentrasi logam berat dan jumlah inokulasi sel. Jika ada beda maka dilanjutkan dengan uji Duncan pada  $\alpha = 0,05$ .

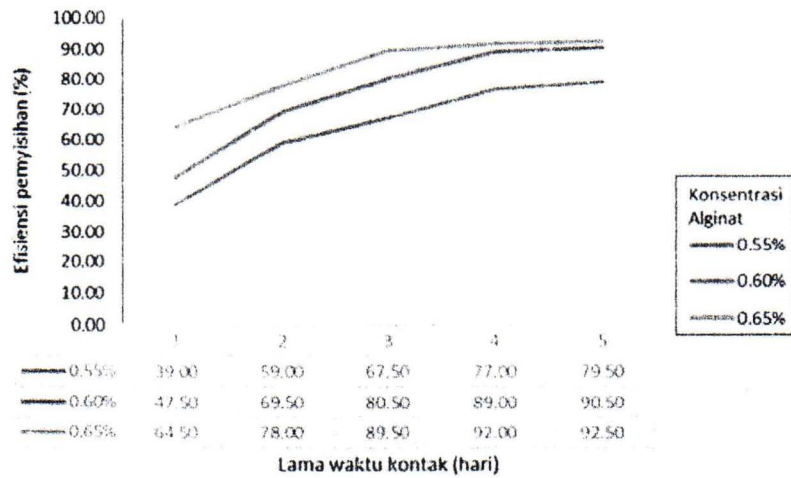


**BAB V**  
**HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI**

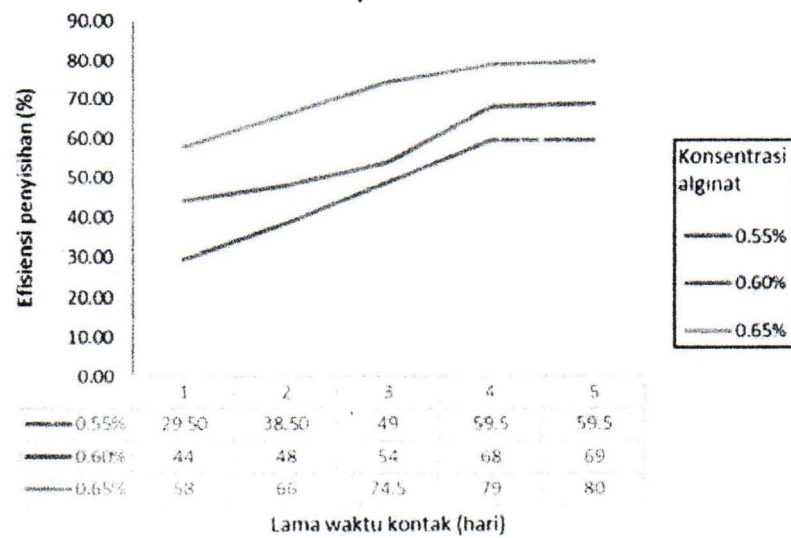


**5.1. Data Limbah Sintetik dan Limbah Galvanis**

Dari hasil uji AAS, diketahui kandungan logam berat di air limbah galvanisasi untuk Hg sebesar 0,82 ppm, Pb sebesar 38,51 ppm, dan Cd sebesar 12,10 ppm. Ph limbah galvanis sebesar 3. Efisiensi penyisihan logam berat di limbah sintetik logam tunggal dapat dilihat pada Gambar 2, 3, dan 4, sedang di limbah sintetik logam campuran dapat dilihat pada Gambar 5, 6, dan 7.

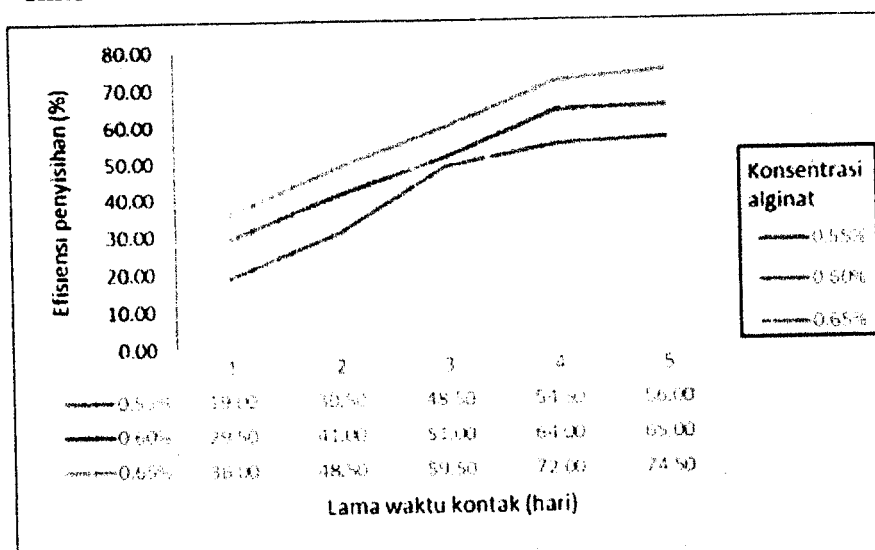


Gambar 2. Grafik efisiensi penyerapan logam Hg oleh *Skeletonema sp* imobil di limbah sintetik Hg



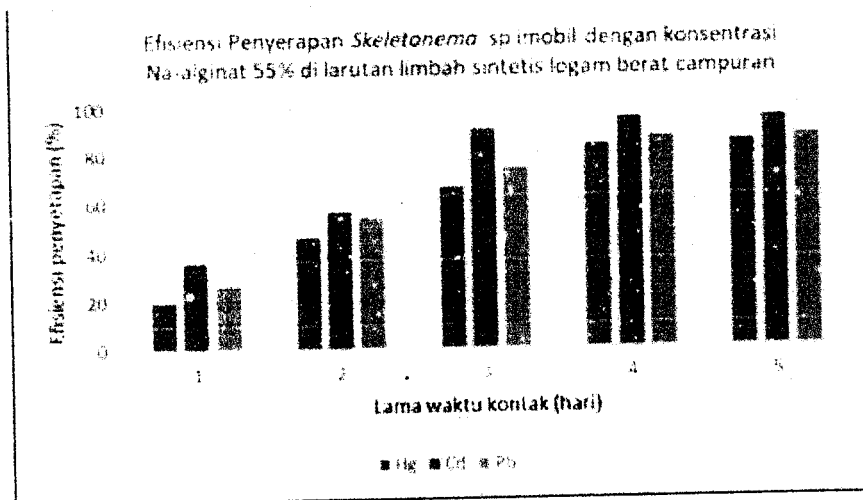
Gambar 3. Grafik efisiensi penyerapan logam Pb oleh *Skeletonema sp* imobil di limbah

sintetik Pb

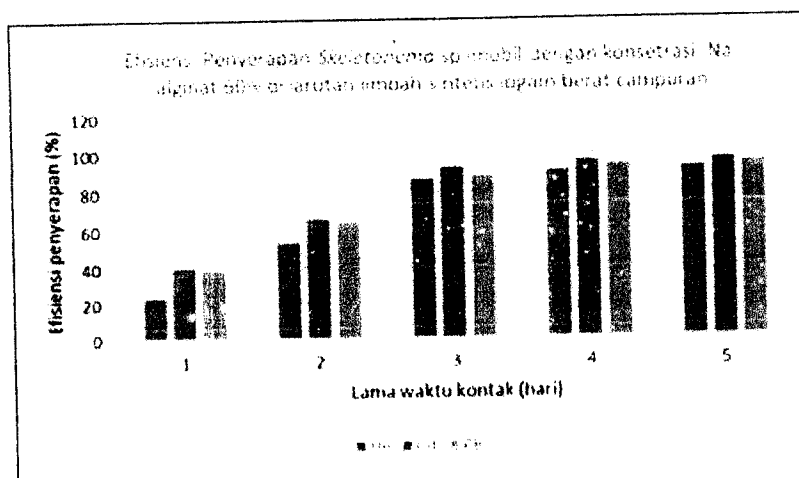


Gambar 4. Grafik efisiensi penyerapan logam Cd oleh *Skeletonema sp* imobil di limbah sintetik Cd

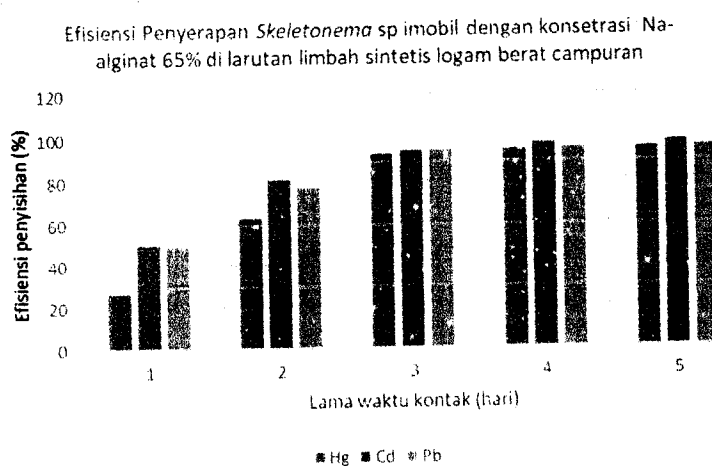
Gambar 2-4 menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak semakin efisiensi penyerapan logam Pb, Cd maupun Hg semakin meningkat pula. Hal ini sama juga terjadi pada *Skeletonema sp* yang tidak diimmobilisasi pada penelitian tahun pertama.



Gambar 5. Grafik efisiensi penyerapan logam Hg, Cd. Dan Pb oleh *Skeletonema sp* imobil dengan Na-alginat 55% di limbah sintetik logam campuran



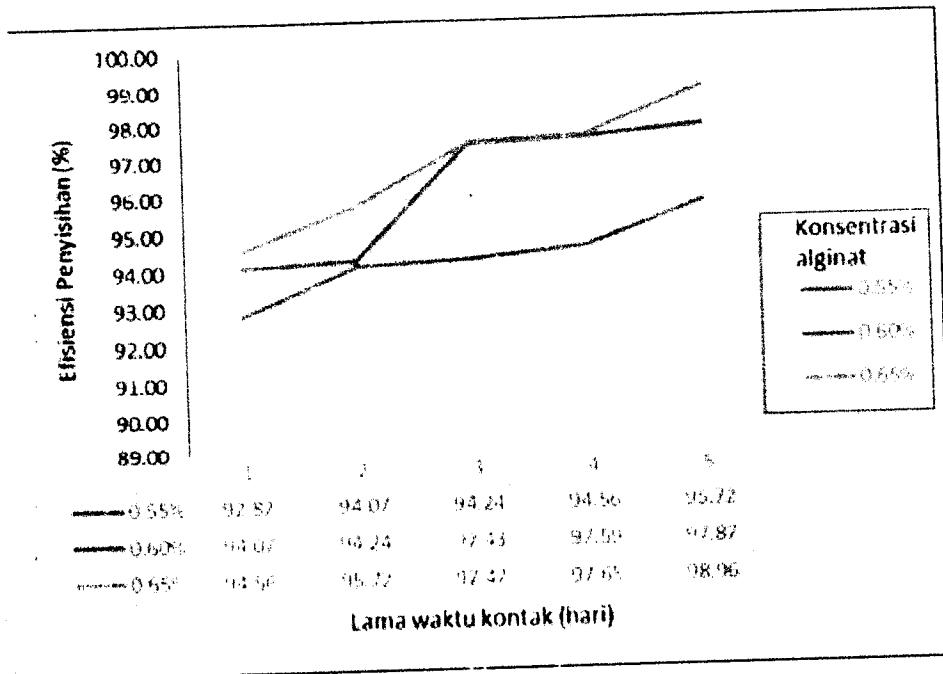
Gambar 6. Grafik efisiensi penyerapan logam Hg, Cd. Dan Pb oleh *Skeletonema sp* imobil dengan Na-alginat 60% di limbah sintetik logam campuran



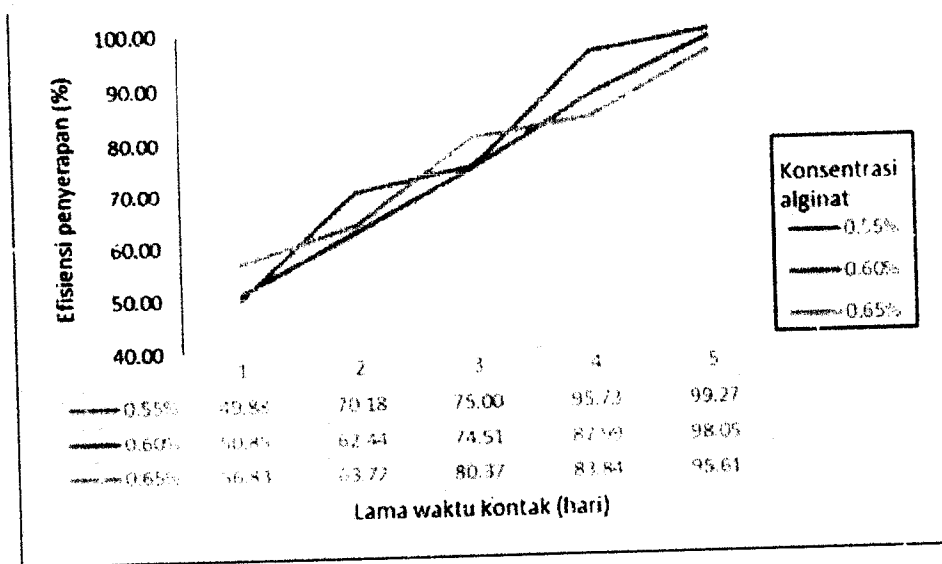
Gambar 7. Grafik efisiensi penyerapan logam Hg, Cd. Dan Pb oleh *Skeletonema sp* imobil dengan Na-alginat 65% di limbah sintetik logam campuran

Gambar 5-7 menunjukkan hal yang sama terjadi seperti di limbah sintetik logam berat tunggal, yaitu semakin lama waktu kontak semakin efisiensi penyerapan logam Pb, Cd dan Hg semakin meningkat pula. Hal ini sama juga terjadi pada *Skeletonema sp* yang tidak diimmobilisasi pada penelitian tahun pertama. Selain itu, gambar-gambar tersebut menunjukkan bahwa afinitas logam berat Cd lebih tinggi dari kedua logam lainnya. Hal ini ditunjukkan bahwa efisiensi penyerapan Cd paling tinggi dibanding dengan logam yang lain.

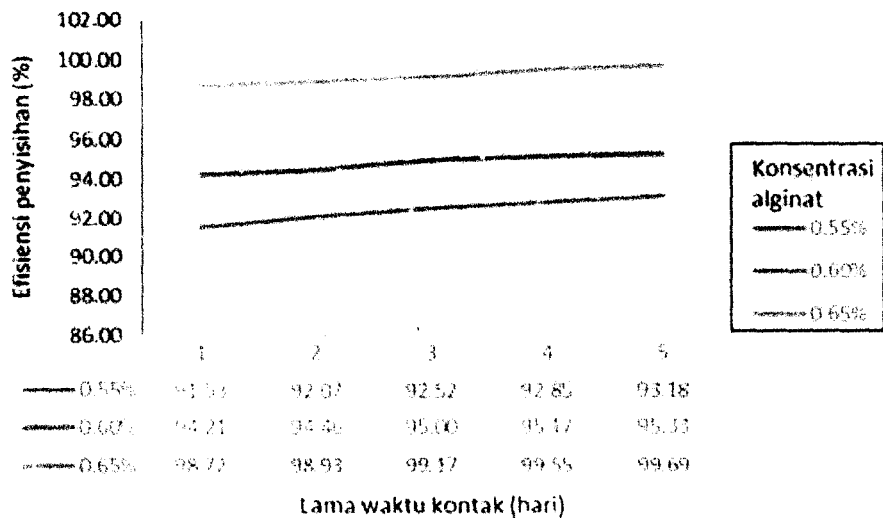
Sedangkan efisiensi penyerapan logam oleh *Skeletonema sp* yang diimmobilisasi dengan natrium alginat di limbah galvanis dapat dilihat pada Gambar 8, 9, dan 10



Gambar 8. Grafik efisiensi penyerapan logam Hg oleh *Skeletonema* sp imobil di limbah Gaivanis



Gambar 9. Grafik efisiensi penyerapan logam Pb oleh *Skeletonema* sp imobil di limbah galvanis



Gambar 10. Grafik efisiensi penyerapan logam Cd oleh *Skeletonema* sp immobil di limbah Galvanis

Gambar 5-6 juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak semakin efisiensi penyerapan logam Pb, Cd maupun Hg semakin meningkat pula.

Pada dasarnya *Skeletonema* sp. mampu menyerap logam berat karena mikroalga tersebut memiliki muatan negatif sedangkan logam berat diperairan memiliki muatan positif sehingga *Skeletonema* sp. mampu menyerap logam berat tersebut (Leonard, 2014). Seperti mikroalga lainnya, *Skeletonema* sp. mampu menyerap logam berat melalui dua cara yaitu absorpsi dan adsorpsi. Adsorpsi terjadi karena *Skeletonema* sp. memiliki dinding sel dengan kandungan selulosa yang terdiri atas gugus fungsional hidroksil yang mampu berikatan dengan logam berat (Knauer dan Sigg, 1997 dan Gupta *et al*, 2000) atau menggantikan unsur Zn yang ada pada dinding sel (Fauziah, 2011).

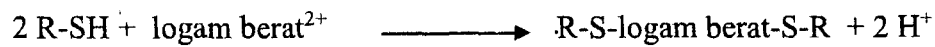
Selain melakukan penyerapan logam secara adsorpsi, *Skeletonema* sp. juga mampu melakukan proses penyerapan aktif ke dalam sel atau disebut absorpsi (Rangsayatorn *et al*. 2002). Penyerapan aktif ke dalam sel tersebut dilakukan karena *Skeletonema* sp. menghasilkan fitokelatin. Fitokelatin atau zat pengkelat dihasilkan oleh mikroalga sebagai zat protektif jika berada dalam lingkungan yang beracun. Fitokelatin tidak hanya dihasilkan pada saat mikroalga terpapar logam berat saja tetapi pada kondisi normal fitokelatin juga dihasilkan sebagai unsur penyeimbang di dalam metabolisme sel dalam jumlah yang sedikit. Seperti diatom *Thalassiosira weissflogii* yang menghasilkan fitokelatin tanpa adanya pemaparan logam berat kadmium (Price dan Morel 1990; Ahner *et al*.1994).

Pada dasarnya sintesis fitokelatin merupakan respon umum dari mikroalga yang terpapar logam berat yang jumlahnya bervariasi antar spesies (Ettajani *et al.* 2001). Seperti yang ditunjukkan oleh Rijstenbil *et al.* (1994) bahwa sintesis fitokelatin dilakukan oleh sel *Thalassiosira pseudonana* tetapi tidak ditemukan fitokelatin pada *Ditylum brightwellii*. Dalam hal ini tidak semua mikroalga menghasilkan fitokelatin baik untuk metabolisme maupun respon terhadap lingkungan yang tidak mendukung. Nassiri *et al.* (1997) menyatakan bahwa vakuola di dalam sel *Skeletonema* yang teramati menunjukkan adanya ikatan protein yaitu fitokelatin dengan logam.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa fitokelatin juga dihasilkan sel mikroalga pada kondisi normal selain sebagai pendukung metabolisme sel juga sebagai penanda awal atau *biomarker* adanya logam berat. Fitokelatin semakin meningkat jumlahnya dan semakin efektif kerjanya saat terpapar logam berat seperti kadmium (Morelli *et al.*, 2008). Hal tersebut juga dibuktikan oleh diatom *Phaeodactylum tricornutum* yang setelah terpapar logam berat kadmium dipindahkan ke media baru tanpa logam berat kadmium, menunjukkan bahwa fitokelatin jumlahnya menurun. Penurunan jumlah fitokelatin menunjukkan mekanisme bioremediasi dan pelepasan kompleks logam dan fitokelatin (Morelli *et al.*, 2001). Jadi mekanisme bioremediasi pada saat fase adaptasi dan pertumbuhan eksponensial terjadi pada dinding sel sedangkan saat terjadi penurunan kepadatan sel, mekanisme bioremediasi logam berat kadmium dilakukan sel dengan menghasilkan fitokelatin tergantung konsentrasi dan kemampuan dari mikroalga itu sendiri (Monteiro *et al.*, 2009).

Fenomena logam berat yang terkonsentrasi dalam jaringan ditemukan terkait dengan peran protein pengikat logam. Fungsi dari protein tersebut adalah mengikat logam, protein yang dapat mengikat logam tersebut adalah metalotionin (cys-x-cys, x adalah asam amino selain sistein, biasa disingkat dengan MT). Metalotionin merupakan kelompok protein spesifik non enzim yang memainkan peran sentral dalam metabolisme logam. Metalotionin digambarkan sebagai protein sitoplasma yang mempunyai massa molekul rendah (sekitar 10.000 dalton), dengan struktur yang tidak beraturan. Protein ini terdiri atas sistein dan kadang-kadang mengandung sedikit histidin atau asam amino aromatik lainnya. Hampir setiap metalotionin mempunyai residu 24 sistein dan dalam setiap 3 residu sistein mengikat 1 ion logam sehingga 1 metalotionin mengikat 8 ion logam. Konsekuensi dengan adanya sistein berarti pula metalotionin mempunyai sejumlah besar gugus tio (sulfidril, -SH). Gugus ini merupakan pengikat logam berat. Jika kecepatan masuknya logam melebihi kecepatan sintesis metalotionin, maka akan terjadi pelimpahan logam dari metalotionin ke dalam penampung

enzim. Efek toksik selanjutnya bergantung pada pengalokasian logam-logam essential dari metaloenzim yaitu enzim yang membutuhkan ion logam spesifik sebagai kofaktor untuk mengkatalisis. Reaksi sederhana antara logam berat dengan gugus sulfidril (-SH) adalah sebagai berikut.



Imobilisasi *Skeletonema* sp dengan natrium alginat menunjukkan efisiensi penyerapan lebih tinggi. Hal ini dikarenakan alginat yang merupakan senyawa polisakarida mempunyai sifat mampu menjerap logam berat. Beberapa penelitian menunjukkan hasil bahwa penambahan natrium alginat sebagai pengimobilisasi dapat meningkatkan removal logam berat di limbah yang mengandung logam berat (Petrovic dan Simonic, 2016; Masriza dkk, 2017).

### 5.3 Luaran

Luaran dari penelitian ini pada tahun kedua adalah:

1. Artikel yang telah diseminarkan pada seminar internasional 1<sup>st</sup> ICST di Unair
2. Symposium on Biomass Utilization and Renewable Energy di Korea University Seoul
3. Seminar Cosci Unair;
4. Beberapa karya ilmiah (untuk jurnal, sudah submit masih *review*);
5. Paten yang di tahun kedua (draft);
6. Buku Ekologi Tumbuhan (masih melanjutkan dari tahun pertama, edit).



## BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

### 7.1 Kesimpulan

Kesimpulan “sementara” yang dapat ditarik penelitian ini adalah:

1. *Skeletonema* sp. imobil mampu menyisihkan Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) pada konsentrasi 2 ppm.
2. Efisiensi penyisihan maksimum logam Hg(II) 99,27% dengan konsentrasi natrium alginat 0,55%, logam Pb(II) 80% dengan konsentrasi natrium alginat 0,65%, dan logam Cd(II) sebesar 9,69% dengan konsentrasi natrium alginat 0,65%.
3. Lama waktu kontak *Skeletonema* sp. imobil yang menghasilkan efisiensi penyisihan logam Hg(II), Pb(II), dan Cd(II) paling tinggi pada hari kelima.
4. Efisiensi penyisihan maksimum logam Hg(II) 95% dengan konsentrasi natrium alginat 0,65%, logam Pb(II) 95,5% dengan konsentrasi natrium alginat 0,65%, dan logam Cd(II) sebesar 98% dengan konsentrasi natrium alginat 0,65%.
5. Efisiensi penyisihan maksimum pada limbah galvanis dengan menggunakan *Skeletonema* sp. imobil, yaitu pada Hg(II) sebesar 98,96% dengan konsentrasi natrium alginat 0,65%, pada Pb(II) sebesar 99,27% dengan konsentrasi natrium alginat 0,55%, dan pada Cd(II) sebesar 99,69% dengan konsentrasi natrium alginat 0,65%



## DAFTAR PUSTAKA



- Agustina, T.E., Nurisman, E. Prasetyowati, Haryani, N. 2011. *Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintesis dengan Menggunakan Reagen Fenton*. Prosiding Seminar Nasional Avo ER ke-3, Palembang.
- Ahamed M., and Siddiqui M.H.J., 2007, Environmental lead toxicity and nutritional factors, *Clinical Nutrition* 26:400-408.
- Ahner, B.A., Kong, S., and Morel, F.M.M., 1995. Phytochelatin production in marine algae an interspecies comparison. *Limnol. Oceanogr.* **40**, 649-657.
- Basmi. 1999. *Perkembangan Komunitas Plankton sebagai Indikator Perubahan Tingkat Kesuburan Kualitas Perairan*. Jurusan Ilmu Perairan Fakultas Pasca sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Briggs, G.G., Bromilow, R.H., Evans, A.A. 1982. *Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionized chemicals by barley*. Pestic. Sci. 13: 405-504.
- Darmono. 1995. *Logam Berat dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI Press.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius, Yogyakarta.
- Fauziah. 2011. *Efektivitas Penyerapan Logam Kromium (Cr IV) dan Kadmium (Cd) oleh Scenedesmus dimorphus*. Skripsi. Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Garcia-Leston J., Mendez J., Pasaro E., and Laffon B., 2010, Genotoxic effects lead: An updated review, *Environment International* **36**: 623-636.
- Hala, Y., Emma S., dan Paulina T., 2012. Biosorpsi Campuran Logam  $Pb^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$  Oleh *Chaetoceros calcitrans*. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Harinanda, I.P., Th. Soedarti, dan T. Surtiningsih, 2006. *Studi Perbandingan Pertumbuhan Beberapa Jenis Diatom dalam Berbagai Media*. Semnas. Biodiversitas II, Dep. Biologi-FST Universitas Airlangga.
- Jamil, K., 2001. *Bioindicators and biomarkers of environmental pollution and risk assessment*. Science publishers inc., Enfield.

Masriza, M., Elystia, S., dan Muria, S. R. 2017. Penyisihan Cromium pada Limbah Cair Elektroplating Menggunakan Biomassa Ragi Roti (*Saccharomyces cerevisiae*) yang Diimmobilisasi dengan Kalsium Alginat. Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Riau. 3

Mohsin, Y. 2006. *Kadmium*. <http://www.chem-ist-try.org>. Diakses pada tanggal 29 Desember 2014 pukul 19.00 WIB.

Monteiro, C M., Castro P M L., Malcata F X. 2009. Use of The Microalga *Scenedesmus obliquus* To Remove Cadmiumcations from Aqueous Solutions. *World J Microbiol Biotechnol* 25: 1573-1578

Moore J.W. and Ramamorthy S. 1984. *Heavy Metals in Natural Waters, applied Monitoring and Impact Assessment*: Springer-Verlag NewYork Inc.

Morelli, E., G Scarano. 2001. Synthesis and Stability of Phytochelatins Induced by Cadmium and Lead in the Marine Diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Marine Environmental Research* volume 52, Issue 4, oct 2001, pages 383-395

Morelli E., Maria L M., Laura F. 2008. A Phytochelatin Based Bioassay in Marine Diatoms Useful for the Assessment of Bioavailability of Heavy Metals Released by Polluted Sediment. *Environmental Internation* vol 35, Issue 3, April 2009 pages 532 – 538

Nassiri, Y., Mansot, J.L, We' ry, J., Ginsburger-Vogel, T., and Amiard, J.C., 1997. Ultrae structural and electron energy loss spectroscopy studies of sequestration mechanisms of Cd and Cu in themarine diatom *Skeletonema costatum*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*33, 147–155.

Nybakken, J.W. and M.D.Bertness., 2005. *Marine Biology An Ecological Approach Sixth Edition*. San Francisco: Pearson Education Inc.

Palar H., 2008, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineka Cipta, Jakarta.

Perales-Vela, H.V., Pena-Castro J.M., and Canizares-Villanueva R.O., 2006. Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere*, 64:1-10.

Petrovic dan Simonic. 2016. Removal of Heavy Metal Ions from Drinking Water by Alginate-Immobilized *Chlorella sorokiniana*. Islamic Azad University.

Priadie, B. 2012. Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol10 (1):38-48.

Price N. M, and Morel F. M. M. 1990. Cadmium and Cobalt Substitution Forzinc in a Marine Diatom. *Nature* 344:658 – 660

Sharma, O.P. 1986. *Textbook of Algae*. Tata Mc.Graw-Hill Publishing Company, New Delhi.

Soedarti, T., Pujiyanto, M. Affandi, 2000, *Estimasi Populasi Fitoplankton Laut Dengan Laser, Laporan Penelitian DPP/SPP*. Unair, Surabaya.

Soedarti, T., Mahendra., dan T. Surtiningsih, 2005. *Kultur Diatom Laut Coscinodiscus sp Dalam Berbagai Media, Konggres Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia*, UHT Surabaya.

Soedarti, T., T. Surtiningsih, and Aspin Y.P., 2007. *The Effect of Cadmium (Cd) for The Growth of Marine Diatom (Coscinodiscus sp.)*, *Internatinal Conference on Basic and Applied Sciences (ICOWOBAS)*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Airlangga.

Soedarti, T., Indira P.H., dan Tini S., 2009. *Studi Perbandingan Pertumbuhan Beberapa Jenis Diatom Laut Dalam Berbagai Media*, *Seminar Nasional Biologi*, UIN Malang.

Suhendrayatna. 2011. *Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Microorganism*. ISTECS, Jepang. <http://www.istecs.org/Publication/Japan/010211> 29 November 2014.

Waldichuck, M., 1974. *Some Biological Concern in Metals Pollution: "Pollution and physiology of marine organisms"* (VERNBERG & VERNBERG Geds.) Acad. Press. London. 1- 45.

Zhu X., Kusaka Y., Sato K., and Zhang Q., 2000, *The Endocrine Disruptive Effects of Mercury*, *Environmental Health and Preventive Medicine* 4:174-183.



1<sup>st</sup> ICST  
Environmental Protection

# CERTIFICATE

*Presented to :*

**THIN SOEDARTI**

as  
**Presenter**

in the  
"1<sup>st</sup> International Conference Science and Technology for  
Environmental Protection"

August, 8<sup>th</sup>- 9<sup>th</sup> 2018  
Surabaya, Indonesia

Dean of Faculty of Science and Technology  
Universitas Airlangga,



Prof. Win Darmanto, M.Si., Ph.D.

Chairman,



Prof. Dr. Ir. Agoes Soegianto, DEA.

**Organized by :**  
Department of Biology  
Universitas Airlangga

**Sponsored by :**

Lampiran I. Seminar 1<sup>st</sup> ICST (sertifikat)



## Abstrak seminar ICST



ICST

1<sup>st</sup> International Conference on Science and  
Technology for Environmental Protection 2018  
Study Program of Environmental engineering  
Department of Biology  
Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga



WWT/150-18/ICST/2018

### HEAVY METALS REMOVAL (MERCURY, LEAD, AND CADMIUM) IN AQUEOUS USING MICROALGAE

Thin Soedarti<sup>1\*</sup>, Tini Surtiningsih<sup>1</sup>, and Nur Indradewi Oktavitr<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Universitas  
Airlangga, Surabaya, Indonesia

**Abstract.** Few biomaterials have shown promise as adsorber to remove heavy metals from polluted waters at a lower cost than conventional wastewater treatment technologies. *Skeletonema costatum* is one of the abundant microalgae in the Java Sea. This study aimed to know removal efficiency of the heavy metals (mercury, lead, and cadmium) in the mixture using *Skeletonema costatum* with a variation of contact time. This study used factorial design 3 x 5, i.e. three of *S. costatum* inoculation concentration (5000 cells/mL, 10000 cells/mL, and 15000 cells/mL), and five of contact times (24, 48, 72, 96 and 120 hours). The treatments have replicated five times. The concentration of each heavy metal was 2 ppm in solution. The data of removal efficiency percentage was analyzed by multivariate analysis of variance (MANOVA). The result indicated the highest of removal efficiency was 15000 cells/mL inoculation on 120 hours contact time (mercury = 97.95%, lead = 54%, and cadmium= 90%).

**Keywords:** biomaterial, cadmium, lead, mercury, removal efficiency, *Skeletonema costatum*

Lampiran 2. LOI Symposium on Biomass Utilization and Renewable Energy di Korea University Seoul



Department of Chemical and Biological Engineering,  
College of Engineering,  
Korea University,  
Seoul, 136-701,  
Republic of Korea

**INVITATION LETTER**  
**September 10-14, 2018**

The 12<sup>th</sup> Korea-ASEAN Joint Symposium on Biomass Utilization and Renewable Energy

Dra. Thin Soedarti, CESA

Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga.

Dra. Thin Soedarti, CESA

We are pleased to invite you to present at the 12th Korea-ASEAN Joint Symposium on Biomass Utilization and Renewable Energy (September 10-14, 2018) in Korea University, Seoul, Korea.

Your participation is very important to the success and continuity of the program. We hope you will be able to attend and look forward to seeing you at the Symposium.

Thank you very much for your cooperation.

Sincerely yours,

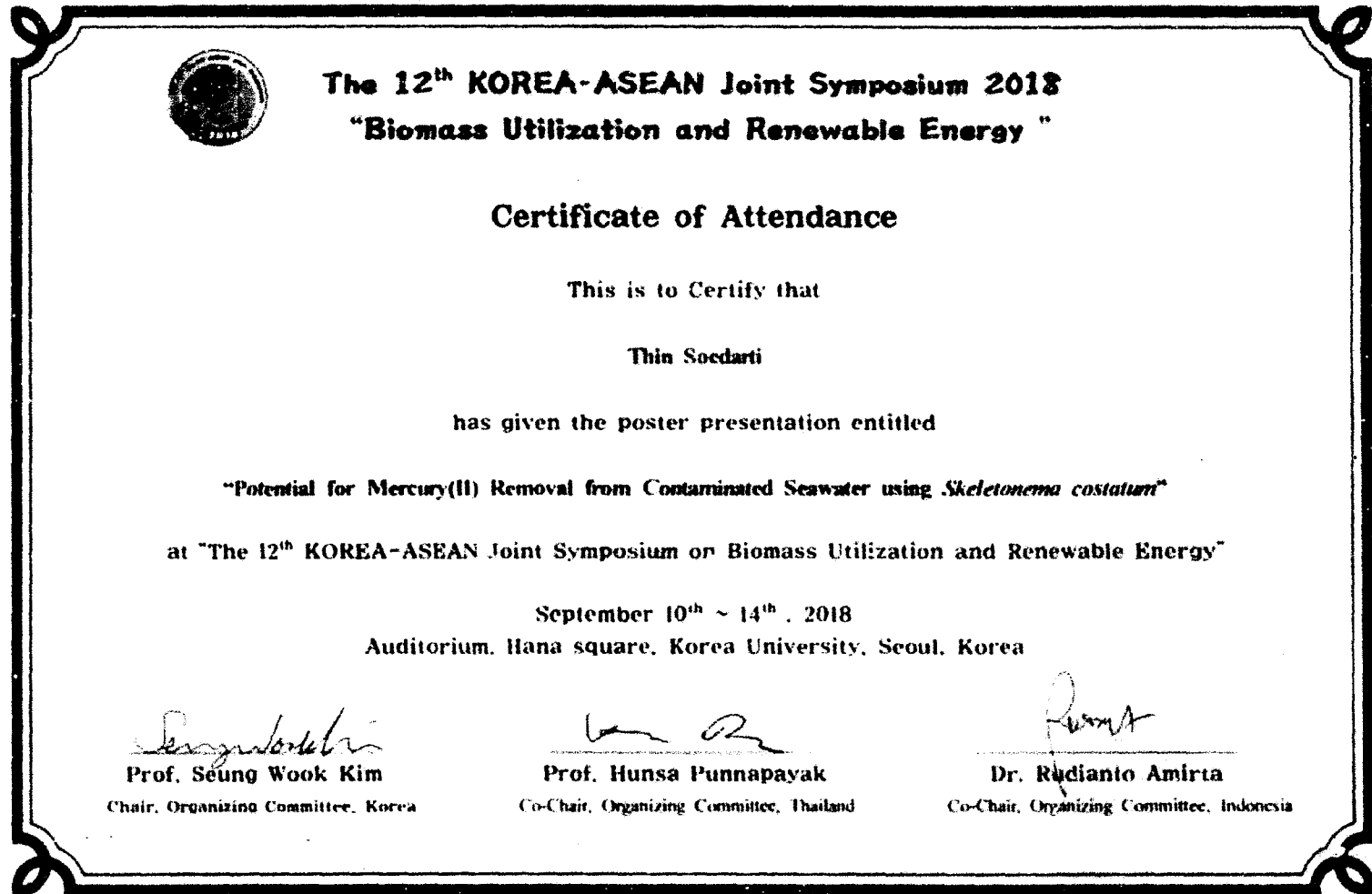
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Seung Wook Kim'.

**Prof. Seung Wook Kim Ph.D**  
Chairman of the Symposium  
Organizing Committee  
Korea University

Telephone: +82-2-3290-3300

FAX: +82-2-926-6102

E-mail: [kimsw@korea.ac.kr](mailto:kimsw@korea.ac.kr)



Sertifikat Symposium on Biomass Utilization and Renewable Energy di Korea University Seoul



Lampiran 3. LOA seminar COSCI Unair



The Indonesian Society  
for Biochemistry and  
Molecular Biology

**AnMicro**

**Annual Congress Of Indonesian Society For Biochemistry And Molecular Biology In Conjunction  
With International Collaboration Seminar Of Chemistry And Industry (Cosci 2018)**

**"Recent Development of Omics Technology For Human Prosperity"**

**Surabaya, 9-12 October 2018**

<http://workshop1st.conference.unair.ac.id>

---

**LETTER OF ACCEPTANCE**

21<sup>st</sup> August 2018

**Primary Author : Thin Soedarti**

**Paper Title : Removal metal Pb(II) from Pb(II) aqueous and Galvanized waste using  
marine diatom Skeletonema costatum**

Dear Author,

Congratulation on the acceptance of your paper as **Oral presentation**. Please submit your full paper  
no later than September, 15<sup>th</sup>, 2018.

And thank you for your interest in the "*Annual Congress Of Indonesian Society For Biochemistry  
And Molecular Biology In Conjunction With Internationnal Collaboration Seminar Of Chemistry  
And Industry (COSCI 2018)*".

On behalf of the Conference Advisory Committee, I would like to formally invite you to attend the  
seminar to present your paper on 11-12<sup>th</sup> October 2018 at Garuda Mukti Building, Universitas  
Airlangga, Campus C Unair Molyorejo, Surabaya, Indonesia.

Regards,

Chair, Conference Organizing Committee


## Lampiran 4. Hasil review jurnal internasional

## 1. Sustinere

Revisi paper


Inbox x



 **Sustinere Jes** <sustinere.jes@gmail.com>  
to me

Jun 12



 Indonesian > English Translate message

Turn off for Indonesian x

Yth. Ibu Thin Soedarti,

Salam,

Mohon maaf sebelumnya jika mengganggu liburan panjang Ibu. Kami dari pengelola Jurnal **Sustinere: Journal of Environment and Sustainability**. Kami bekerja sama dengan ITS untuk menerbitkan paper-paper yang dipresentasikan di International Conference on Environmental Engineering tahun 2017 lalu. Berikut link-nya <https://sustinerejes.com/index.php/ai/issue/view/4>

Paper bapak berjudul **Remediation of Pb(II) and Cd(II) in sea water by Skeletonema Costatum** sudah kami publish untuk edisi Desember 2017 (seperti dalam link di atas). Akan tetapi masih dalam bentuk draft yang belum kami olah sama sekali. Untuk menjaga kualitas jurnal kami, kami memohon Ibu melakukan sedikit revisi pada paper yang saya lampirkan dalam email ini. Draft paper yang harus direvisi mohon dilihat di attachment dalam email ini. Proofread akan kami tanggung biayanya, namun setelah Ibu melakukan revisi.

Kami harapkan, paper revisi sudah siap secepatnya karena kami juga sedang proses indeksasi DOAJ dan penilaian Sinta (Arjuna) sebelum Juli 2018.

Sekali lagi, mohon maaf jika kurang berkenan. Jika ada pertanyaan silahkan diajukan melalui email ini saja. Terima kasih atas kerjasamanya.

Salam

Septin Puji Astuti  
Editor-in-Chief

**Sustinere: Journal of Environment and Sustainability**  
Center for Science and Technology IAIN Surakarta  
Jl. Pandawa, Pucangan, Kartasura, Sukoharjo, Central Java, Indonesia  
E-mail: [sustinere.jes@iain-surakarta.ac.id](mailto:sustinere.jes@iain-surakarta.ac.id), [sustinere.jes@gmail.com](mailto:sustinere.jes@gmail.com)  
Ph. +62 271 781516; Fax +62 271 782774

## 2. Jurnal BMC

MCLS Review Comments MCLS2017

Molecular and Cellular Life Science Universitas Ailangga

Manuscript ID: OM-02

TITLE

Thank you for your manuscript submission to MCLS. We sent your manuscript to reviewers and we have now received their reports, which are copied below.

I have carefully evaluated your manuscript and the reviewers' reports, and the reports indicate that revisions are necessary.

Please find the reviewer comment that listed at the end of this manuscript and submit a revised manuscript which addresses all of the reviewers' comments. Further peer review of your revised manuscript may be needed, you have made.

Moreover, each manuscript must fulfill the requirements as below:

- \* Please construct the manuscript following BMC template and author resubmission checklist (attached)
- \* All articles must have a Competing interests statement at the end of the article. If there are no competing interests this can simply say "The authors declare that they have no competing interests."
- \* All articles must have a full Declaration section stating specifically where funding for publication of the article came from (ie. "Publication of this article was funded by XYZ grant")
- \* Figures must be submitted as separate files. Each figure should be provided as one clearly named file, no larger than one PDF page, and if there are multiple parts to a figure these should each be combined into a single file.
- \* Please complete Biomed Central License Agreement (attached) and resubmit with revised manuscript.

Please submit your revised manuscript as soon as possible to MCLS Email: [mcls@ugm.ac.id](mailto:mcls@ugm.ac.id) with subject: Manuscript ID-revised (for example OM-05-revised) no later than April 02 th. 2018

You should submit your revised manuscript as soon as possible with all supplement data. If your revisions will take a significant length of time, please contact us.

I look forward to receiving your revised manuscript.

Yours sincerely,

MCLS 2017 Committee

No Manuskrip : ON-02  
Judul :

Kepada Yth  
Peserta MCLS 2017

Pertama-tama kami mengucapkan terima kasih atas pengiriman manuskrip anda ke MCLS 2017. Kami telah mengirimkan manuskrip anda ke para reviewer dan berikut hasil review manuskrip anda :

"Kami telah melakukan evaluasi terhadap manuskrip anda. Dari hasil evaluasi tersebut kami menyarankan untuk melakukan revisi terhadap manuskrip anda"

Saran dari para reviewer bisa dilihat pada bagian akhir dari pembertitahuan ini. Mohon kirimkan kembali manuskrip anda yang telah direvisi sesuai dengan saran para reviewer dengan mencantumkan komentar terhadap saran para reviewer serta tandai point-point yang telah dirubah pada manuskrip anda. Proses review lebih lanjut terkait manuskrip anda mungkin diperlukan.

Setiap manuskrip harus memenuhi persyaratan berikut ini :

\*Manuskrip ditulis sesuai dengan template BMC dan checklist

\*Semua artikel harus memiliki pernyataan terkait "competing interest" pada akhir dari artikel

\*Semua artikel harus memiliki informasi terkait sumber pendanaan publikasi artikel (misalnya : publikasi artikel ini didanai oleh XYZ)

\*Mohon gambar pada manuskrip disubmit secara terpisah. Pada masing-masing gambar diberikan nama yang jelas dan diusahakan masuk dalam 1 file PDF. Jika lebih dari satu file PDF, mohon disatukan menjadi 1 file terkompres

\*Mohon mengisi Biomed Central License Agreement (terlampir) dan dikirimkan bersama dengan manuskrip revisi.

Mohon mengirimkan manuskrip anda yang sudah direvisi sesegera mungkin ke email MCLS di [mcls@sit.unma.ac.id](mailto:mcls@sit.unma.ac.id) dengan subject : Manuscript ID-revised (contoh: ON-05-revised) paling lambat 02 April 2018

Sebaiknya manuskrip disubmit sesegera mungkin dengan semua data pendukung, jika anda membutuhkan tambahan waktu untuk merevisi data manuskrip anda, mohon menghubungi panitia mcls.

Kami sangat menantikan revisi manuskrip anda.

Hormat kami,

Panitia mcls

Reviewer 1

The following aspect should be considered for the revision

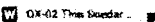
1. Narrow investigation, need more comprehensive data on the manuscript
2. The English is good, but not smooth and some typos

Reviewer 2

The following aspects are found in the manuscript and should be avoided

1. the significant importance of this manuscript comparing reported paper need to announced on the introduction.
2. need high resolution figure

2 Attachments



## Deskripsi

### ***Skeletonema* sp HIDUP DAN IMOBIL SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT DI LIMBAH GALVANIS**

#### **Bidang Teknik Invensi**

Invensi ini berhubungan dengan *Skeletonema* sp hidup dan imobil sebagai adsorben logam berat (Hg(II), Pb(II), Cd(II), Cu(II), Ni(II)).

#### **Latar Belakang Invensi**

Saat ini, pencemaran menjadi salah satu fokus perhatian ahli lingkungan dunia termasuk di Indonesia. Polusi perairan terjadi karena masuknya polutan dalam bentuk zat, organisme atau energi ke perairan sehingga kualitas air turun dan tidak dapat berfungsi sesuai dengan alokasi penggunaannya. Pencemaran logam berat di lingkungan merupakan masalah yang penting karena dampaknya dapat menimbulkan gangguan bagi makhluk hidup termasuk gangguan kesehatan pada manusia. Dampak negatif yang ditimbulkan merupakan fungsi dari mobilitas dan toksisitas dari logam berat; logam berat seperti Hg (merkuri), Pb (timbal), Cd (cadmium, Cu (tembaga), dan Ni (nikel) memiliki kemampuan untuk terakumulasi pada biota; toksisitas dari logam berat bervariasi antar logam berat, logam berat seperti Hg dan Cd memiliki toksisitas yang berbahaya terhadap biota. Limbah Hg dapat dihasilkan oleh industri cat dan kertas (Darmono, 2008). Tragedi Minamata merupakan suatu referensi standar yang menggambarkan dampak negatif yang diakibatkan oleh Hg yang dibuang ke badan air. Masalah kesehatan yang ditimbulkan oleh Pb antara lain adalah gangguan syaraf, ginjal, sistem hormon. Limbah Cd dapat dihasilkan oleh industri pembuatan plastik dan industri *electroplating*. Cd dapat merusak ginjal, paru-paru, darah, dan jantung (Palar, 2008).

Pencemaran air merupakan suatu konsekuensi logis dari pertumbuhan jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan akan barang. Hal penting yang dapat dilakukan adalah upaya perlindungan terhadap lingkungan. Pemerintah telah mengeluarkan PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Berbagai macam cara dilakukan dalam mengatasi bahaya pencemaran di perairan akibat logam berat kadmium. Salah satunya dengan teknik remediasi yaitu mengubah logam berat menjadi suatu unsur yang tidak berbahaya. Teknik remediasi yang sering dilakukan secara kimia ternyata kurang efektif karena bahan pencemar hanya akan berpindah tempat. Saat ini teknik bioremediasi mulai dikembangkan yaitu menggunakan unsur biologi sebagai agen bioremediator. Teknik bioremediasi saat ini dikembangkan karena tidak mengakibatkan kerusakan lingkungan seperti kerusakan dan kematian biota di perairan yang telah tercemar.

Alga mampu menjadi agen bioremediasi. Menurut Fauziah (2011), mikroalga spesies *Scenedesmus dimorphus* memiliki kemampuan sebagai agen bioremediasi dengan menyerap logam berat yaitu Cd sebesar 65,91% pada konsentrasi 5 ppm. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa mikroalga merupakan mikroorganisme yang memiliki potensi untuk melakukan proses bioremediasi terutama di perairan yang tercemar logam berat.

Salah satu mikroalga atau fitoplankton yang keberadaannya melimpah di alam yaitu *Skeletonema* sp. Fitoplankton tersebut masuk kedalam kelompok diatom yang merupakan mikroalga uniseluler dengan distribusi yang sangat universal di semua tipe perairan (Basmi, 1999). *Skeletonema* sp. diketahui memiliki kemampuan dalam bioremediasi logam berat yang mampu mengakumulasi logam berat kadmium dengan menghasil metalotionin untuk mengikat ion  $Cd^{2+}$  menjadi unsur yang stabil (Nassiri, 1997).

Penelitian yang telah dipatenkan adalah paten nomor WO2017125495 A1. Paten ini berkenaan dengan suatu proses pembuatan komposisi katalis yang terdiri dari tahap-tahap berturut-turut (i) pemuatan mikroalga dengan satu atau lebih logam berat, dan (ii) secara termal dan secara opsional secara kimiawi memperlakukan mikroalga tersebut untuk memperoleh komposisi katalis tersebut. Penemuan ini juga berkaitan dengan komposisi katalis yang diperoleh dan penggunaannya untuk mengkatalisis reaksi sintesis organik. Proses tersebut digunakan pada logam transisi yaitu mangan, seng, emas, tembaga dan atau palladium. Pada paten ini, *Skeletonema* sp. sebagai katalis dengan dikalsinasi terlebih dahulu.

Berdasarkan latarbelakang di atas, perlu dikaji lebih mendalam mengenai kemampuan *Skeletonema* sp. tumbuh pada limbah galvanis yang mengandung logam berat (Hg(II), Pb (II), Cd(II), Cu(II) dan Ni(II)) dan konsentrasi maksimum logam berat yang yang mampu diremediasi oleh mikroalga *Skeletonema* sp.

#### **Uraian Singkat Invensi**

Invensi yang diusulkan ini pada prinsipnya adalah pemanfaatan *Skeletonema* sp. sebagai bio-adsorben logam berat. *Skeletonema* sp. dikultur di dalam botol yang berisi 1000 mL yang sudah diberikan media Conwy. Agar dapat tumbuh dengan baik, penempatan wadah kultur harus cukup mendapatkan cahaya, yaitu dengan menggunakan lampu TL 40 watt (=5000 lux) dengan suhu 25°C - 27°C. Setiap hari kultur diamati pertumbuhannya dengan menghitung jumlah sel/mL untuk mengetahui **karakterisasi fase pertumbuhannya**.

**Tahap perlakuan** digunakan limbah galvanis yang mengandung Hg sebesar 0.82 ppm, Pb sebesar 38.51 ppm, Cd sebesar 12.10 ppm, Cu sebesar 2,9 ppm, dan Ni sebesar 29,8 ppm dimasukkan ke dalam 30 botol reaktor sebanyak 250 mL, kemudian ditambahkan biakan

*Skeletonema* sp hidup sebanyak 15000 sel/mL. Sedangkan 30 botol reaktor lainnya diberi *Skeletonema* sp imobil yang diimmobilisasi dengan natrium alginat dengan konsentrasi 0,55% dan 0,65%.

### **Uraian Lengkap Invensi**

Sebagaimana yang telah dikemukakan pada latar belakang invensi bahwa *Skeletonema* sp dapat sebagai adsorben logam berat.

**Persiapan adsorben** dilakukan dengan memberi perlakuan kepada bahan dasar adsorben. **Persiapan media kultur** dibuat dari supernatan air tanah laut sebanyak 15 mL dicampur dengan air garam ( $\text{KNO}_3$  400 mg,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  40 mg,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  20 mg, dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14 mg), dan air laut murni 1000 mL, kemudian di stirer  $\pm$  10 menit, diukur pH-nya  $\pm$  7,8-8, ditutup dengan kapas dan aluminium foil supaya tidak terkontaminasi, lalu disterilisasi dengan *autoclave* pada suhu  $121^\circ\text{C}$  selama 15 menit. **Pembuatan supernatan air tanah laut**, yaitu tanah laut 1 kg dicampur dengan 1000 mL akuades kemudian direbus sampai mendidih kurang lebih 60 menit. Lalu diendapkan selama  $\pm$  2 hari dan setelah itu disaring dengan kertas saring. Setelah supernatannya didapat, disimpan di tempat dingin.

**Persiapan limbah galvanis.** Limbah cair galvanis hasil samping proses pelapisan pipa diambil dengan jirigen volume 2 liter. Sampel kemudian diawetkan dengan cara dimasukkan *box* *sterofoam* dan diberi es batu. Sebelum perlakuan, sampel disaring terlebih dahulu menggunakan kertas saring. Proses penyaringan berfungsi untuk menyisahkan endapan dalam air limbah. Limbah cair galvanisasi selanjutnya dianalisis menggunakan uji AAS untuk mengetahui konsentrasi logam berat Ni yang terkandung didalamnya. Nilai pH air limbah sebesar 3.

**Karakterisasi adsorben setelah berinteraksi dengan logam** dilakukan dengan mengambil sejumlah sampel adsorben yang telah



siap dipakai untuk analisis SEM dan EDX. Luaran dari tahap ini adalah karakteristik fisika-kimia adsorben.

Pada **kemampuan menyisihkan logam berat** diberi *Skeletonema* sp. hidup dengan inokulasi 15000 sel/mL dan *Skeletonema* sp imobil dibiarkan selama selang waktu tertentu (1; 2; 3; 4; dan 5 hari), diambil sampel larutan untuk dianalisis dengan AAS. Luaran dari tahap ini adalah laju penyisihan dengan waktu kontak maksimum.

Efisiensi penyisihan kelima logam berat di limbah galvanis menggunakan adsorben *Skeletonema* sp. hidup dan *Skeletonema* imobil yang diikat dengan natrium alginat menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan kelima logam berat tersebut di limbah galvanis naik seiring dengan peningkatan waktu kontak.

Efisiensi penyisihan Hg(II) optimum sebesar 86,83% pada inokulasi 15000 sel/mL di 2 ppm Hg dengan waktu kontak 4 hari (Tabel 1). Efisiensi penyisihan Cd(II) optimum sebesar 78,22% pada inokulasi 15000 sel/mL di 0,5 ppm Cd dengan waktu kontak 3 hari (Tabel 2).

### Klaim

1. Metode pengkulturan *Skeletonema* sp. yaitu:
  - a *Skeletonema* sp. dikultur di media Conwy;
  - b *Skeletonema* sp. dikultur pada pH 7-8;
  - c *Skeletonema* sp. dikultur pada salinitas 16-25 permil;
  - d *Skeletonema* sp. dikultur dengan intensitas cahaya 5000 lux secara kontinyu (tidak dimatikan) dengan lampu TL 40 watt;
  - e *Skeletonema* sp. dikultur pada suhu media 26-29<sup>0</sup> C.
  - f *Skeletonema* sp. dikultur pada suhu ruang 25-27<sup>0</sup> C.
2. Efisiensi penyisihan *Skeletonema* sp hidup dan yang imobil (diikat dengan natrium alginat) di limbah galvanis, untuk Hg, Pb, Cd, Cu, dan Ni bisa dilakukan pada inokulasi 15000 cell/mL dan lama waktu kontak 5 hari (Gambar 1, 2, dan 3).
3. Efisiensi penyisihan *Skeletonema* sp. hidup dan imobil (yang diikat dengan natrium alginat) di limbah galvanis yang paling maksimum pada inokulasi 15000 sell/mL dan lama waktu kontak 5 hari (gambar 1, 2, 3, 4, dan 5).

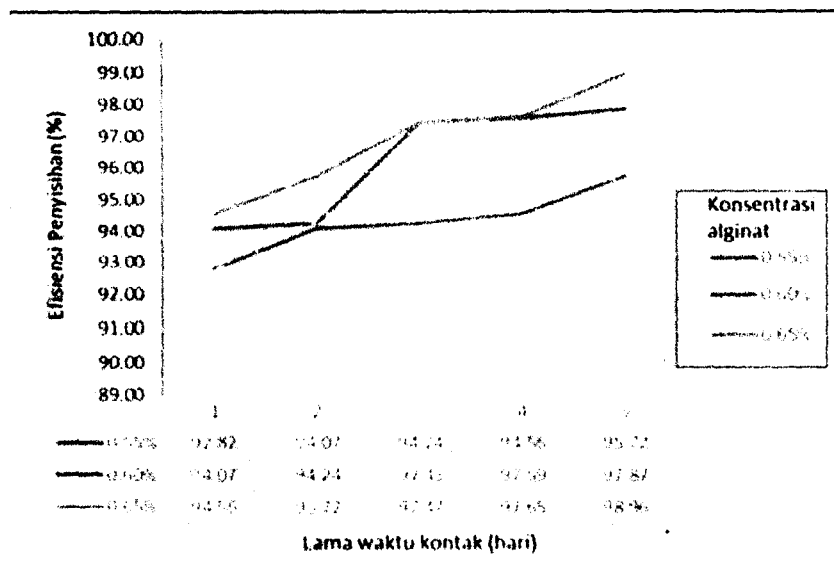
### Abstrak

#### ***Skeletonema* sp. SEBAGAI BIO-ADSORBEN Hg(II) DAN Cd(II)**

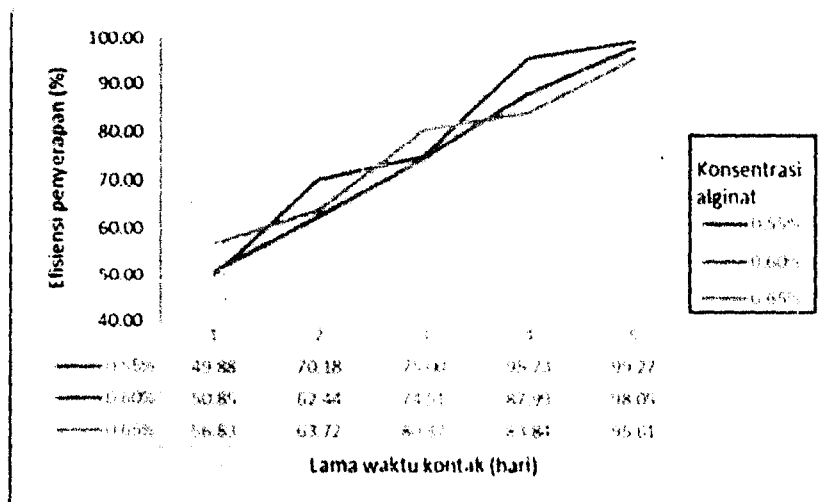
Invensi ini berhubungan dengan kemampuan *Skeletonema* sp hidup dan imobil (yang diikat dengan natrium alginate) sebagai adsorben logam berat Hg(II), Pb(II), Cd(II), Cu(II), dan Ni(II) di limbah galvanis. *Skeletonema* sp. dikultur di media Conwy dengan pH 7-8, salinitas media 16-25 permil dan suhu media 26-29<sup>o</sup> C. Inntensitas cahaya 5000 lux secara kontinyu (tidak dimatikan) dengan lampu TL 40 Watt.

Masing-masing logam berat Hg(II), Cd(II) dan Pb(II) dibuat dalam konsentrasi 0,5 , 1, dan 2 ppm. Perlakuan inokulasi *Skeletonema* sp. (5000, 10000, dan 15000 sel/Ml) dimasukkan ke dalam media XMU sampai volume 150 mL. Perlakuan lama kontak dibuat berdasarkan kurva pertumbuhan *Skeletonema* sp (hari pertama sampai hari kelima).

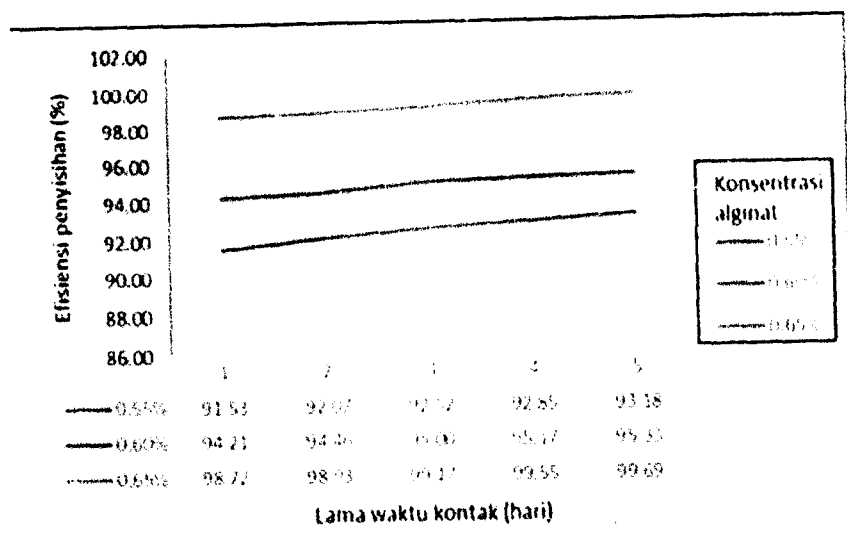
Luaran dari tahap ini adalah efisiensi penyisihan *Skeletonema* sp. pada 2 ppm Hg(II) bisa dilakukan pada inokulasi 15000 cell/mL dan lama waktu kontak 4 hari. Efisiensi penyisihan *Skeletonema* sp. pada 0,5 ppm Cd(II) bisa dilakukan pada inokulasi 15000 cell/mL dan lama waktu kontak 3 hari.



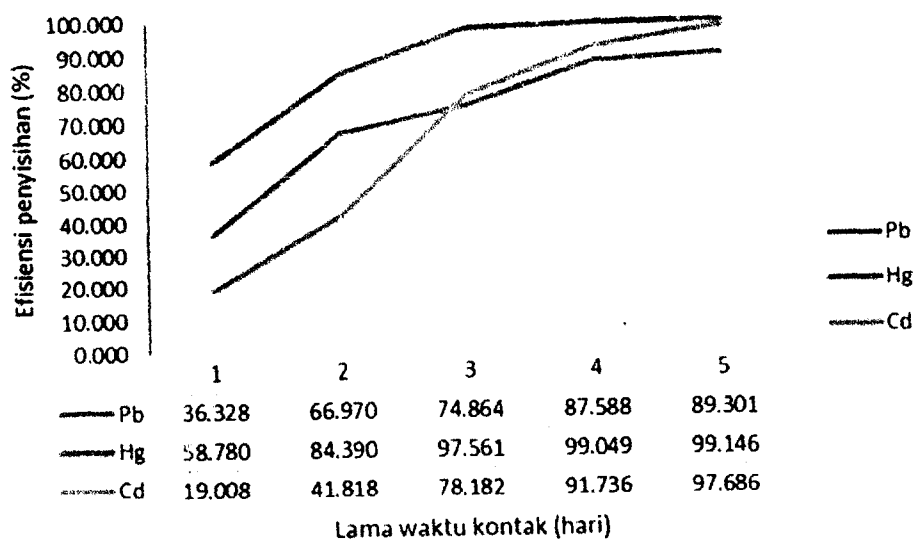
Gambar 1. Grafik efisiensi penyisihan logam Hg oleh *Skeletonema* sp imobil dengan konsentrasi natrium alginat 0,55%, 0,60%, dan 0,65% di limbah galvanis



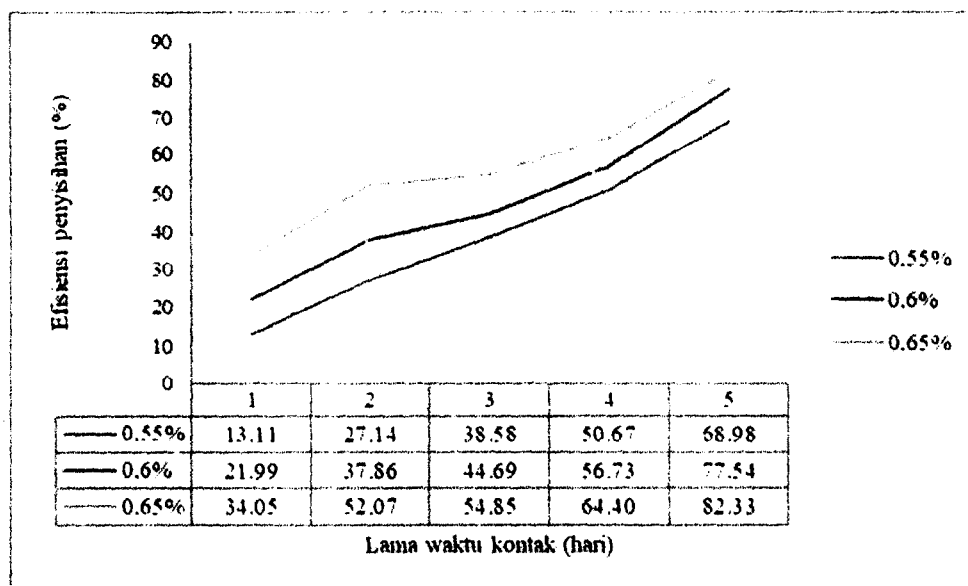
Gambar 2. Grafik efisiensi penyisihan logam Pb oleh *Skeletonema* sp imobil dengan konsentrasi natrium alginat 0,55%, 0,60%, dan 0,65% di limbah galvanis



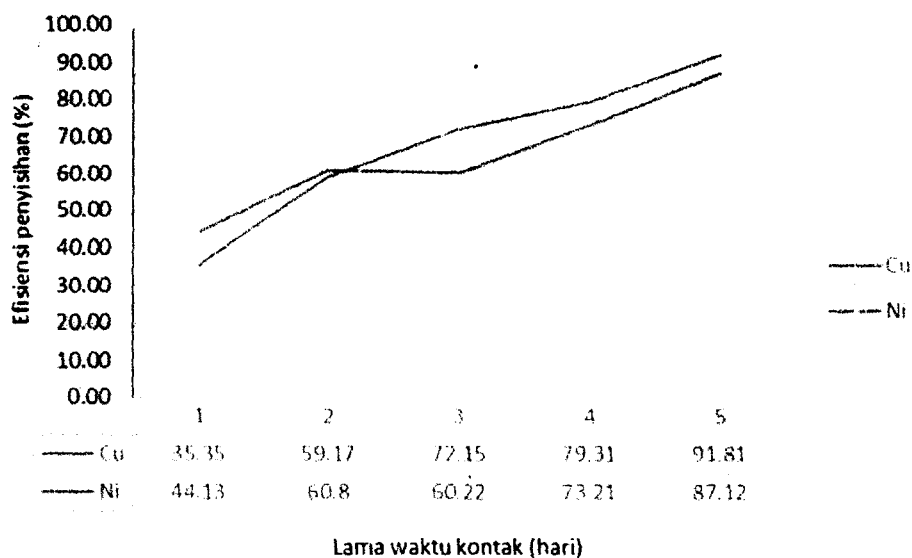
Gambar 3. Grafik efisiensi penyisihan logam Cd oleh *Skeletonema sp* imobil dengan konsentrasi natrium alginat 0,55%, 0,60%, dan 0,65% di limbah galvanis



Gambar 4. Grafik efisiensi penyisihan logam Hg, Pb, dan Cd di limbah galvanis




Gambar 5. Grafik efisiensi penyisihan logam Cu oleh *Skeletonema sp* imobil dengan konsentrasi natrium alginat 0,55%, 0,60%, dan 0,65% di limbah galvanis



Gambar 6. Grafik efisiensi penyisihan logam Cu dan Ni di limbah galvanis

## Analisis Paten

### 1. Process for preparing a catalyst composition from microalgae

<b>Publication number</b>	WO2017125495 A1
<b>Publication type</b>	Application
<b>Application number</b>	PCT/EP2017/051085
<b>Publication date</b>	Jul 27, 2017
<b>Filing date</b>	Jan 19, 2017
<b>Priority date</b> 	Jan 19, 2016
<b>Inventors</b>	Jacques Biton, Brice-Loic RENARD, Elise Salanouve
<b>Applicant</b>	Stratoz
<b>Export Citation</b>	BiBTeX, EndNote, RefMan
Patent Citations (7), Non-Patent Citations (8), Classifications (15)	
<b>External Links:</b> Patentscope, Espacenet	

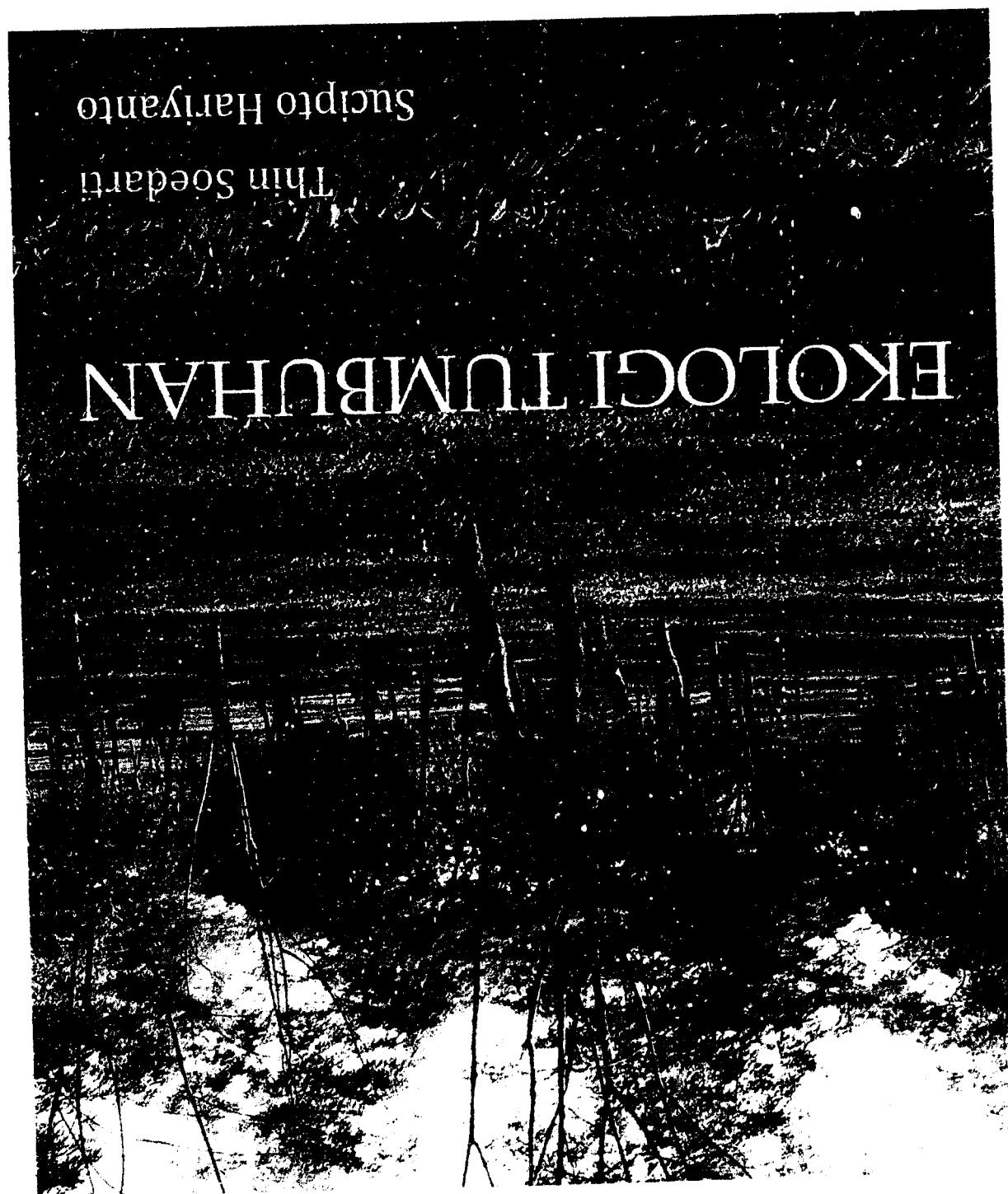
Paten WO2017125495 A1, berkenaan dengan suatu proses pembuatan komposisi katalis yang terdiri dari tahap-tahap berturut-turut (i) pemuatan mikroalga dengan satu atau lebih logam berat dan (ii) secara termal dan secara opsional secara kimiawi memperlakukan mikroalga tersebut untuk memperoleh komposisi katalis tersebut. Penemuan ini juga berkaitan dengan komposisi katalis yang diperoleh dan penggunaannya untuk mengkatalisis reaksi sintesis organik.

Proses tersebut digunakan pada logam transisi yaitu mangan, seng, emas, tembaga dan atau palladium.

Pada paten ini, *Skeletonema* sp. sebagai katalis dengan dikalsinasi terlebih dahulu.

Lampiran 6. Draft buku Ekologi Tumbuhan





## PRAKATA

Puji syukur ka,I ucapkan, karena hanya atas petunjuknya, berkah, rahmat dan hidayah dari Allah Subhanahu Wata'alla sehingga kami dari Kelompok Bidang Keahliann Ekologi Departemen Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga telah dapat menyusun Buku Ekologi Tumbuhan. Ekologi tumbuhan adalah salah satu cabang ilmu dari Ekologi yang menjelaskan interaksi antara tumbuhan dan habitatnya. Penerbitan buku ini diharapkan memberi pengetahuan tentang tumbuhan dan ekosistem yang saling berinteraksi satu sama lain. Dengan demikian pembaca dapat dengan mudah memahami secara jelas bagaimana akibat salah satu komponen baik tumbuhan maupun ekosistemnya jika terjadi kerusakan.

Penulis buku Ekologi Tumbuhan memasukkan hasil penelitian “**Bioremediasi Logam Berat dan Campurannya oleh *Skeletonema sp***” dalam suatu topik di Bab “Aplikasi Ekologi Tumbuhan di Lingkungan”. Hal ini bertujuan agar pembaca memahami permasalahan lingkungan dapat diselesaikan dengan salah satu pengetahuan dari ilmu Ekologi Tumbuhan.

Kritik dan saran sangat kami harapkan guna penyempurnaan buku ini. Kami berharap buku ini dapat membantu dan berguna untuk para pembaca yang berkecimpung pada masalah lingkungan hidup. Kepada semua pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan atas kritik dan sarannya kami ucapkan terima kasih.

Surabaya, Desember 2017

Tim Penyusun

## DAFTAR ISI

	Prakata	iii
	Daftar Isi	iv
	Daftar Tabel	v
	Daftar Gambar	vi
BAB I	PENDAHULUAN	1
BAB II	SEJARAH PERKEMBANGAN EKOLOGI TUMBUHAN	4
	Sejarah Perkembangan Ekologi	4
	Perkembangan Ekologi Tumbuhan	5
	Pendekatan dalam Ekologi Tumbuhan	7
BAB III	SPESES DALAM LINGKUNGAN YANG KOMPLEKS	8
	Spesies sebagai Unit Ekologi	8
	Lingkungan sebagai Faktor Ekologi	9
	Hubungan anatar Faktor Lingkungan	10
	Hukum Minimum	11
	Hukum Toleransi	12
	Konsep Faktor Pembatas	13
BAB IV	KOMUNITAS DAN POPULASI TUMBUHAN	14
	Komunitas Tumbuhan	
	Karakteristik Komunitas Tumbuhan	
	Struktur Kominitas	
	Populasi Tumbuhan	

Populasi lokal dan ras ekologi  
Pola penyebaran individu  
Susunan individu berdasarkan waktu  
Masa hidup  
Distribusi umur  
Kurva kehidupan

## BAB V FAKTOR-FAKTOR LINGKUNGAN

Iklm  
Cahaya  
Suhu  
Presipitasi dan Kelembapan Udara  
Edafik  
Fisografi dan Topografi

## BAB VI KEANEKARAGAMAN VEGETASI DAN EKOSISTEM ALAMI

## BAB VII ADAPTASI TUMBUHAN

## BAB VIII SUKSESI TUMBUHAN

## BAB IX KLASIFIKASI KOMUNITAS

## BAB X ANALISIS VEGETASI TUMBUHAN

**BAB XI    APLIKASI EKOLOGI TUMBUHAN**

**Bioremediasi**

**Fitoplankton agen bioremediator**

**Hasil penelitian**

**Daftar Pustaka**

**Glosarium**

**Indeks**

## BAB I

### PENDAHULUAN

Ekologi tumbuhan adalah salah satu cabang disiplin ekologi yang mempelajari secara khusus interaksi tumbuhan dengan lingkungan hidupnya, yang berhubungan dengan berbagai proses dan fenomena alam yang telah lama dikenal. Misalnya bagaimana tumbuhan untuk kehidupannya memerlukan sinar matahari, air, oksigen, karbon dioksida, tanah atau lahan sebagai tempat hidupnya atau habitatnya. Bagaimana peranan energy dan nutrisi untuk proses metabolisme tubuh tumbuhan, tumbuhan dalam ekosistem sebagai komponen sebagai sumber makanan dan sumber energy untuk makhluk hidup lainnya yang diperoleh melalui rangkaian rantai makanan dan jaring-jaring makanan, dan proses dekomposisi oleh mikrobial. Lingkungan sebagai suatu faktor ekologi yang terdapat di sekitar tumbuh-tumbuhan dan makhluk hidup lainnya dapat terdiri atas lingkungan **biotik** (hidup) dan **abiotik** (tidak hidup). Lingkungan biotik adalah lingkungan yang terdiri atas semua unsur makhluk hidup yang ada (tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme), dan lingkungan abiotik misalnya tanah (habitat), air, oksigen, karbon dioksida dan cahaya.

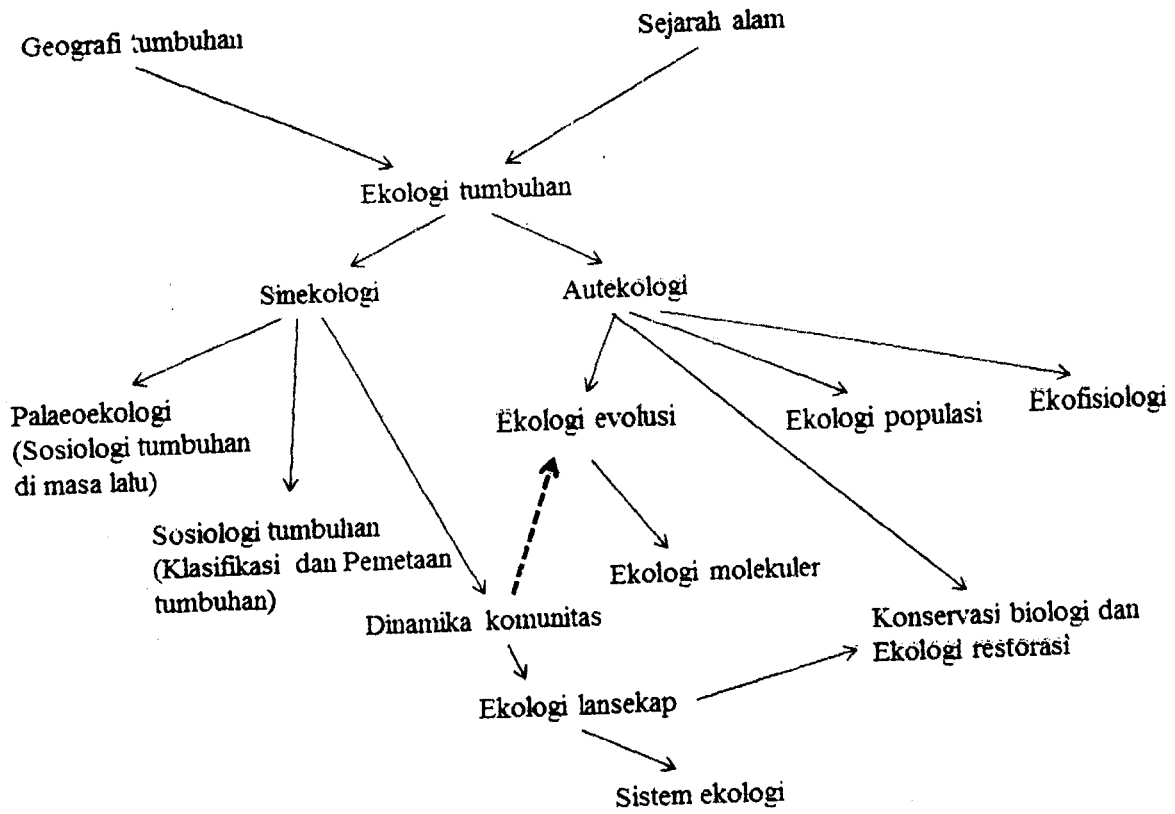
Habitat sebagai faktor lingkungan tempat tinggal makhluk hidup dalam melaksanakan kehidupannya akan mempengaruhi kehidupan tumbuh-tumbuhan dan makhluk lainnya. Misalnya air, bahan-bahan mineral dan nutrient, serta cahaya matahari adalah faktor abiotik yang berguna untuk proses fotosintesis. Hasil fotosintesis tersebut, misalnya karbohidrat kemudian dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup lain (hewan dan manusia) sebagai sumber energi.

Dalam suatu system ekologi, tumbuhan sebagai satu kesatuan makhluk hidup secara individu disebut jenis atau spesies, yang kemudian berkelompok dengan sesama jenisnya membentuk populasi tumbuhan. Kumpulan berbagai jenis tumbuhan bersama-sama membentuk komunitas tumbuhan. Dalam ekologi tumbuhan tidak hanya mempelajari individu tumbuhan dan jenis atau spesies tumbuhan tetapi juga terhadap vegetasi tumbuh-tumbuhannya. Kajian tersebut dinamakan **autekologi** (ekologi populasi), misalnya tentang aspek tahap-tahap kehidupannya atau respon dan penyesuaian diri terhadap faktor lingkungan. Jika kajiannya meliputi berbagai populasi tumbuhan dari bermacam-macam jenis (masyarakat tumbuhan), maka kajiannya disebut **sinekologi** (ekologi komunitas), misalnya interaksi tumbuh-tumbuhan satu sama lain dalam memanfaatkan air dan nutrien atau persebarannya.

Tumbuhan tersebut berinteraksi satu sama lain dengan habitat dan lingkungannya maupun dengan makhluk hidup lainnya. Keseluruhan tumbuh-tumbuhan dan makhluk hidup lain yang jenisnya bermacam-macam, mempunyai bentuk penampilan dan keberadaannya berbeda-beda akan saling berinteraksi secara timbal balik dengan habitat dan lingkungannya seperti tanah, air, cahaya matahari, kelembapan udara, suhu udara dan suhu tanah, pH tanah, unsur hara, dan mineral. Interaksi tersebut kemudian akan membentuk bermacam-macam sistem ekologi (ekosistem) yang berbeda-beda sehingga menciptakan keanekaragaman ekosistem. Pengaruh lingkungan terhadap tumbuhan atau populasi tumbuhan dapat dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu **lingkungan mikro** (*microenvironment*) dan **lingkungan makro** (*macroenvironment*). Lingkungan makro yaitu suatu lingkungan yang berpengaruh secara umum atau regional, sedangkan lingkungan mikro adalah lingkungan yang paling dekat dengan tanaman yang secara potensial berpengaruh terhadap organ-organnya, jadi merupakan suatu lingkungan di mana tumbuhan harus melakukan tanggapan. Lingkungan makro mungkin sangat berbeda dengan lingkungan mikro, sebagai contoh adalah lingkungan dalam suatu kanopi hutan sangat berbeda dengan lingkungan luar kanopi tersebut khususnya pada kelembapan, kecepatan angin, intensitas cahaya dan tentunya suhu. Lingkungan mikro di bawah suatu bebatuan di gurun tentu lebih dingin dibandingkan dengan suhu di luar bebatuan tersebut. Kecepatan angin pada lingkungan mikro pada satu mm dari permukaan daun tentu mempunyai kecepatan angin yang berbeda dengan bagian organ lain, sehingga dikatakan lingkungan mikro adalah lingkungan dimana tanaman mampu bertanggap. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 1.1.

Vegetasi terdiri atas semua spesies tumbuhan di suatu wilayah (flora) dan cara spesies berkembang, baik menurut ruang (spasial) dan waktu. Setiap tipe vegetasi dapat dicirikan oleh bentuk hidup (*life form*) atau bentuk tumbuh (*growth form*) dari tumbuhan yang dominan (terbesar, melimpah, ciri spesifik tumbuhan). Contoh bentuk hidup antara lain: herba annual, pohon berdaun lebar hijau sepanjang tahun, tumbuhan dengan rizom atau bertunas, pohon berdaun jarum hijau sepanjang tahun, semak perdu, dan rerumputan berumpun dal lain sebagainya. Agar lebih jelas tentang bentuk hidup lihat Gambar 1.2 berikut ini.

Dalam mempelajari ekologi tumbuhan memerlukan ilmu-ilmu dari cabang biologi yang lain seperti geografi tumbuhan, sejarah alam, morfologi tumbuhan, taksonomi tumbuhan. Di samping itu ekologi tumbuhan saat ini telah berkembang menjadi cukup banyak spesialisasinya. Untuk lebih jelasnya lihat gambar diagram di bawah ini (Gambar 1.3).



Gambar 1.3. Hubungan antara spesialisasi dalam ekologi tumbuhan (Barbour *et al.*, 1999)



## BAB XI

### APLIKASI EKOLOGI TUMBUHAN

Makin meningkatnya pemanfaatan sumberdaya yang diperlukan manusia telah menyebabkan makin menciutnya luas lingkungan alami dan makin bertambahnya lingkungan buatan. Akibat kegiatan manusia tersebut adalah pencemaran lingkungan oleh limbah buangan industri, kelangkaan dan kepunahan species berbagai organisme, terjadinya perubahan pola cuaca maupun iklim, semakin lebarnya lubang ozon, timbulnya berbagai jenis penyakit yang berbahaya dan lain-lain. Manusia kini dihadapkan pada 2 tantangan, yaitu menjaga kelestarian ketersediaan sumberdaya dan memelihara kondisi lingkungannya.

Menghadapi kedua tantangan tersebut, ekologi sangat berperan, misalnya penelitian-penelitian yang menghasilkan pemahaman mengenai berbagai aspek ekologi dari suatu populasi, komunitas ataupun ekosistem sehingga faktor-faktor penting dapat diketahui dengan tepat serta menghasilkan peramalan yang lebih akurat. Hal ini dapat mendukung upaya-upaya yang akan dilakukan manusia, karena adanya acuan yang lebih baik untuk mencegah terjadinya perubahan-perubahan maupun kerusakan yang dapat merugikan kondisi lingkungan serta menjaga kesinambungan ketersediaan sumberdaya agar lestari dan pemanfaatannya dapat berkelanjutan.

Penurunan kualitas lingkungan perairan terutama disebabkan oleh limbah yang mengandung logam berat. Saat ini banyak industri skala kecil maupun besar membuang limbah hasil produksi langsung ke perairan tanpa diolah terlebih dahulu. Pada akhirnya limbah tersebut mengalir ke laut dan merusak ekosistem yang berada didalamnya. Seperti yang terjadi di daerah Surakarta, banyak industri batik rumahan yang tidak mengolah limbahnya terlebih dahulu namun dibuang langsung ke sungai. Hal tersebut mengakibatkan kondisi sungai berubah warna menjadi hitam dan merah. Selain itu masyarakat sekitar juga mengalami gatal-gatal dan iritasi kulit akibat pencemaran limbah tersebut (Primartanyo, 2008). Berdasarkan penelitian, ada beberapa jenis logam berat yang terkandung dalam limbah hasil produksi batik seperti kadmium dan timbal (Agustina dkk., 2011).

Salah satu logam berat yang mampu membahayakan makhluk hidup dan lingkungan adalah kadmium (Cd). Berdasarkan urutan toksisitas logam berat, kadmium merupakan urutan kedua logam berat yang berbahaya setelah merkuri yaitu  $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+}$

>  $\text{Sn}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$  (Waldichuck, 1974). Berdasarkan jenis pemakaiannya, saat ini unsur kadmium digunakan untuk *elektroplating*, *pigment* (bahan cat warna), penahan panas dalam alat-alat pabrik, baterai, dan campuran logam. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kadmium merupakan jenis logam berat yang dapat menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Salah satunya adalah kasus yang terjadi di Jepang yang dikenal dengan penyakit itai-itai. Penyakit itai-itai terjadi akibat keracunan kadmium. Peristiwa ini terjadi di Fuchu, dimana terdapat pertambangan Pb, Zn, Cd yang airnya menuju ke hulu sungai yang kemudian mengalir ke daerah persawahan penduduk. Karena beras yang dimakan telah mengandung kadmium, mengakibatkan penduduk di daerah sekitar itu menderita penyakit rematik dan mialgia (nyeri otot) yang disebut dengan penyakit itai-itai. Dari permasalahan tersebut jika pencemaran perairan akibat logam berat dibiarkan, kedepan akan memperburuk kondisi lingkungan, membahayakan kesehatan manusia, dan biota perairan (Makkasau dkk., 2011).

Berbagai cara dilakukan dalam mengatasi bahaya pencemaran di perairan akibat logam berat kadmium. Salah satunya dengan melakukan remediasi. Remediasi merupakan suatu cara yang dapat dilakukan untuk menurunkan toksisitas suatu senyawa. Namun remediasi yang sering dilakukan secara kimia ternyata kurang efektif karena mampu merusak suatu ekosistem. Salah satunya dengan melakukan remediasi. Remediasi merupakan suatu cara yang dapat dilakukan untuk menurunkan toksisitas suatu senyawa. Namun remediasi yang sering dilakukan secara kimia ternyata kurang efektif karena mampu merusak suatu ekosistem. Saat ini teknik bioremediasi mulai dikembangkan yaitu menggunakan unsur biologi sebagai agen bioremediator.

### 1. Bioremediasi

Bioremediasi merupakan suatu proses yang menggunakan organisme sebagai agen remediasi secara biologi (Jamil, 2001). Menurut Priadie (2012), Bioremediasi merupakan penggunaan organisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut. Pada saat proses bioremediasi berlangsung, enzim-enzim yang diproduksi oleh organisme memodifikasi struktur polutan beracun menjadi metabolit yang tidak beracun dan berbahaya. Jadi secara umum bioremediasi dimaksudkan untuk menyelesaikan masalah-masalah lingkungan atau untuk menghilangkan senyawa yang tidak diinginkan dari tanah, lumpur, air tanah atau air permukaan sehingga lingkungan tersebut kembali bersih dan alamiah.

Bioremediasi merupakan hasil pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran dan cukup menarik serta hemat biaya. Pada dasarnya ada dua proses dalam teknologi bioremediasi yang telah dikembangkan yaitu proses bioremediasi *in-situ* dan *ex-situ*. Menurut Jamil (2001), bioremediasi *in-situ* merupakan proses remediasi yang mengolah air atau tanah yang tercemar ditempatnya. Sedangkan proses bioremediasi *ex-situ* merupakan proses remediasi yang memindahkan air atau tanah yang tercemar ketempat lain sebelum perlakuan.

Proses bioremediasi logam berat umumnya terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses pengambilan aktif (*active uptake*) dan penyerapan pasif (*passive uptake*) (Fardiaz, 1992). Pada saat ion logam berat tersebar pada permukaan sel, ion akan mengikat pada permukaan sel berdasarkan kemampuan daya afinitas kimia yang dimilikinya. Mekanisme kedua penyerapan tersebut kemudian diuraikan sebagai berikut.

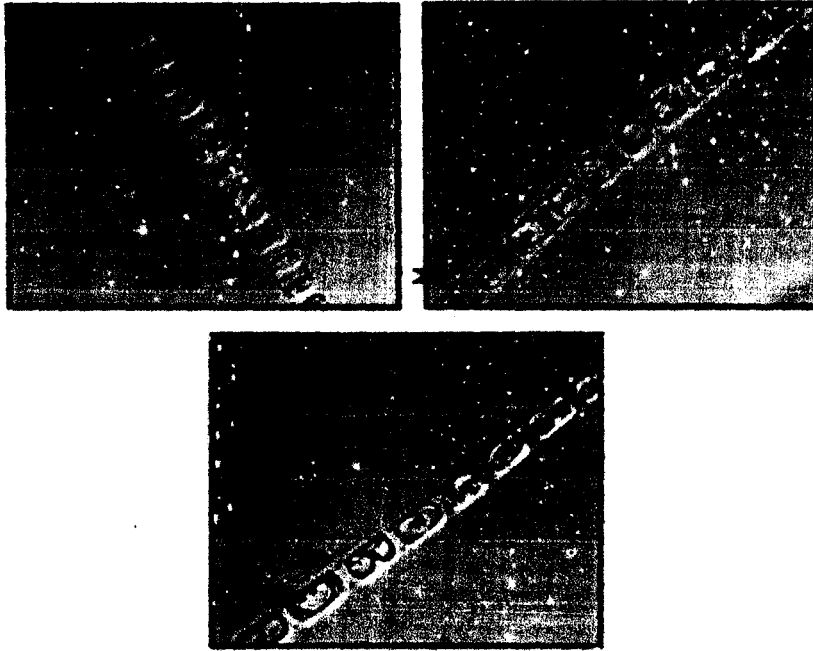
*Passive uptake* dikenal dengan istilah proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda. Pertama pertukaran ion dimana ion monovalen dan divalent seperti Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat. Kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan *functional groups* seperti karbonil, amino, tiol, hidroksi, pospat dan hidroksi karboksil yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak-balik dan cepat. Proses bolak-balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup pada suatu biomassa. Proses biosorpsi dapat lebih efektif dengan kehadiran pH tertentu dan kehadiran ion-ion lainnya di media (Suhendrayatna, 2011)

*Active uptake* dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme dan akumulasi intraseluler ion logam tersebut. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitifitasnya terhadap parameter-parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dan salinitas. Biosorpsi logam berat dengan sel hidup ini terbatas dikarenakan akumulasi ion yang menyebabkan racun terhadap mikroorganisme. Hal ini biasanya dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme disaat keracunan ion logam tercapai (Suhendrayatna, 2011).

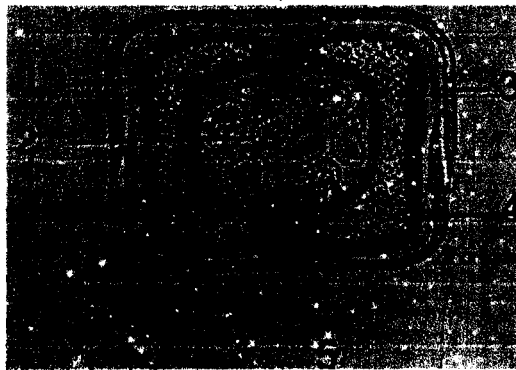
## 1.1 Fitoplankton agen bioremediator

Proses bioremediasi melibatkan beberapa organisme seperti bakteri dan yeast yang sudah banyak dilakukan kajian sebagai agen bioremediator. Perluasan atau diversifikasi agen bioremediator saat ini sedang dikembangkan untuk memberikan beragam solusi dalam mengatasi pencemaran lingkungan terutama di perairan. Salah satunya pemanfaatan agen bioremediasi berupa fitoplankton atau mikroalga. mikroalga dalam hal ini berperan sebagai agen remediasi untuk mengubah sifat toksik bahan kimia menjadi bahan yang tidak berbahaya di lingkungan (Subroto, 1996). Saat ini, teknik bioremediasi dengan menggunakan mikroalga sedang dikembangkan. Mikroalga banyak digunakan sebagai agen remediasi karena siklus hidup yang cepat dan mampu melakukan proses bioremediasi dengan menyerap logam berat.

*Skeletonema* sp. masuk kedalam kelompok mikroalga yang merupakan organisme tumbuhan yang berukuran sangat kecil dan hanya dapat dilihat menggunakan mikroskop (gambar 11.1). *Skeletonema* sp. merupakan mikroalga atau ganggang renik yang hidup didalam air dan berperan sebagai organisme fotosintetik yang disebut fitoplankton. Ahli menyebutkan bahwa fitoplankton adalah organisme tumbuhan berukuran kecil (mikroskopik) yang hidup melayang, mengapung didalam air dan memiliki kemampuan gerak yang terbatas (Goldman and Horne, 1983). Fitoplankton memiliki peranan yang penting dalam arus energi di laut. Jumlahnya sangat banyak dan dapat dijumpai di seluruh permukaan laut sampai pada kedalaman yang dapat ditembus oleh sinar matahari yang masih memungkinkan terjadinya fotosintesis (Romimohtarto dan Juwana, 2). *Skeletonema* sp. merupakan fitoplankton dari jenis diatom yang bersel tunggal dan ukuran sel berkisar antara 4-20  $\mu\text{m}$ . Sel diatom memiliki ciri khas yaitu dinding selnya terdiri atas dua bagian seperti cawan petri (Gambar 11.2). Dinding sel atas yang disebut epiteka saling menutupi dinding sel bagian bawah yang disebut hipoteka pada masing-masing tepinya. Bagian hipoteka mempunyai lubang-lubang yang berpola khas dan indah yang terbuat dari silika oksida. Pada setiap sel dipenuhi oleh sitoplasma. Dinding sel *Skeletonema* sp. (Gambar 11.2) memiliki frustula yang dapat menghasilkan skeletal eksternal yang berbentuk silindris (cembung) dan mempunyai duri-duri yang berfungsi sebagai penghubung pada frustula yang satu dengan yang lain sehingga membentuk filamen (Botes, 2011).



Gambar 11.1 Morfologi *Skeletonema* sp. (Botes, 2011), panah biru tua : Sel silinder dengan ujung bulat, panah hijau : sel membentuk rantai panjang oleh prosesus marginal yang tersusun paralel dengan sumbu longitudinal, panah biru muda : Duri lurus, ramping dan bersatu dengan punggung sel berikutnya untuk membentuk persimpangan, panah jingga : frustula, dan panah ungu : inti.



Gambar 11.2 Anatomi *Skeletonema* sp. (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995) 1. Kloroplas, 2. Inti, 3. Epiteka, 4. Hipoteka, 3 dan 4 disebut Frustula dan 5. Tetesan minyak

*Skeletonema* sp. mempunyai keunikan yang sangat spesifik karena arsitektur dan anatomi dinding selnya tersusun dari silika, sehingga dapat tersimpan dalam kurun waktu yang sangat lama didalam sedimen (Soeprbowati dan Suwarno, 2009). Widiyani (1985) menyatakan bahwa dinding sel *Skeletonema* sp. mengandung pigmen yang terdiri atas klorofil-a,  $\beta$ -karoten, karotenoid,

fukosantin, dan diatomin. Pigmen yang dominan adalah karotenoid dan diatomin yang merupakan pigmen warna coklat. Adanya pigmen karoten lebih banyak dari pigmen warna hijau menyebabkan dinding sel berwarna coklat keemasan dan perairan terlihat coklat muda menyebabkan (Arinardi, 1997).

*Skeletonema sp.* banyak terdapat di daerah tropis dan subtropis, terdapat mulai dari pantai sampai lautan sebagai meroplankton dan benthos. *Skeletonema sp.* yang berada di pantai memiliki panjang rata-rata 4-20  $\mu\text{m}$  dengan lebar rata-rata 5,8  $\mu\text{m}$ . Intensitas penyinaran dari 500 – 12000 lux. Namun pertumbuhan akan menurun jika intensitas cahaya melebihi 12000 lux (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

*Skeletonema sp.* merupakan fitoplankton yang bersifat euritermal yaitu mampu tumbuh pada kisaran suhu 3-30°C dibandingkan kisaran suhu fitoplankton pada umumnya yang hanya sekitar 20-30 °C. Suhu optimal *Skeletonema sp.* adalah 25-27°C. *Skeletonema sp.* bersifat eurihalin yang mampu tumbuh pada kisaran salinitas luas yaitu 15-34 ppt dan salinitas yang paling baik untuk pertumbuhan adalah 20-30 ppt (Haryati, 1980).

## 1.2 Hasil penelitian

*Skeletonema sp.* dikultur di dalam botol yang berisi 1000 mL yang sudah diberikan media XMU. Agar dapat tumbuh dengan baik, penempatan wadah kultur harus cukup mendapatkan cahaya, yaitu dengan menggunakan lampu TL 40 watt (=6000 lux) dengan suhu 25°C - 27°C. Setiap hari kultur diamati pertumbuhannya dengan menghitung jumlah sel/mL untuk mengetahui karakterisasi fase pertumbuhannya.

Tahap perlakuan digunakan larutan logam berat berkonsentrasi 0,5, 1, dan 2 ppm, masing-masing konsentrasi sebanyak 3000 mL yang dimasukkan ke dalam 12 botol kultur sebanyak 250 mL, kemudian ditambahkan biakan *Skeletonema sp.* Sebanyak 5000 sel/mL (5 botol), 10000 sel/mL (5 botol), dan 15000 sel/mL (5 botol), sedang untuk kontrol empat (5) botol hanya berisi biakan *Skeletonema sp.* tanpa diberi logam berat.

**Persiapan adsorben** dilakukan dengan memberi perlakuan kepada bahan dasar bio-adsorben. **Persiapan media kultur** dibuat dari supernatan air tanah laut sebanyak 15 mL dicampur dengan air garam ( $\text{KNO}_3$  400 mg,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  40 mg,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  20 mg, dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  14 mg), dan air laut murni 1000 mL, kemudian di *stirer*  $\pm$  10 menit, diukur pH-nya  $\pm$  7,8-8, ditutup dengan kapas dan aluminium foil supaya tidak terkontaminasi, lalu disterilisasi

dengan *autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit. **Pembuatan supernatan air tanah laut**, yaitu tanah laut 1 kg dicampur dengan 1000 mL akuades kemudian direbus sampai mendidih kurang lebih 60 menit. Lalu diendapkan selama  $\pm 2$  hari dan setelah itu disaring dengan kertas saring. Setelah supernatannya didapat, disimpan di tempat dingin.

**Persiapan larutan logam.** Logam yang digunakan pada penelitian ini adalah  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Larutan logam diperoleh dengan melarutkan masing-masing logam ke dalam aquademin untuk konsentrasi 0,5, 1 dan 2 mg/L.

Pada kemampuan menyisihkan logam berat digunakan larutan logam 0,5, 1 dan 2 mg/L, diberi *Skeletonema sp.* dengan inokulasi 5000, 10000, dan 15000 sel/mL dibiarkan selama selang waktu tertentu (1; 2; 3; 4; dan 5 hari), diambil sampel larutan untuk dianalisis dengan AAS.

Efisiensi penyisihan Hg, Pb, dan Cd menggunakan bio-adsorben *Skeletonema sp.* menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan Hg(II), Cd(II), dan Pb(II) naik seiring dengan peningkatan waktu kontak.

Efisiensi penyisihan Hg(II) optimum sebesar 86,83% pada inokulasi 15000 sel/mL di 2 ppm Hg dengan waktu kontak 4 hari (Tabel 1). Efisiensi penyisihan Cd(II) optimum sebesar 78,22% pada inokulasi 15000 sel/mL di 0,5 ppm Cd dengan waktu kontak 3 hari (Tabel 2). Efisiensi penyisihan Pb(II) sebesar 81% pada inokulasi 15 000 sel/mL di 1 ppm Pb dengan waktu kontak 5 hari (Tabel 3).

Tabel 11.1. Efisiensi penyisihan Hg (%)

Jumlah Sel yang diinokulasi	Hari ke-	K (0 mg L <sup>-1</sup> )	P1 (0,5 mg L <sup>-1</sup> )	P2 (1 mg L <sup>-1</sup> )	P3 (2 mg L <sup>-1</sup> )
S1 (5 000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 $\pm$ 0,00	38,00 $\pm$ 2,00 <sup>ab</sup>	34,00 $\pm$ 2,00 <sup>a</sup>	52,00 $\pm$ 2,18 <sup>cd</sup>
	2	0 $\pm$ 0,00	70,00 $\pm$ 22,50 <sup>tghj</sup>	69,00 $\pm$ 1,00 <sup>tghj</sup>	66,13 $\pm$ 1,61 <sup>ctgh</sup>
	3	0 $\pm$ 0,00	70,67 $\pm$ 3,05 <sup>ghj</sup>	77,00 $\pm$ 2,64 <sup>ijklmnop</sup>	79,50 $\pm$ 0,50 <sup>ijklmnopq</sup>
	4	0 $\pm$ 0,00	74,67 $\pm$ 4,16 <sup>hijklm</sup>	78,33 $\pm$ 2,08 <sup>ijklmnopq</sup>	81,00 $\pm$ 0,50 <sup>klmnopq</sup>
S2 (10000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 $\pm$ 0,00	45,33 $\pm$ 3,05 <sup>bc</sup>	51,67 $\pm$ 3,05 <sup>cd</sup>	59,33 $\pm$ 0,57 <sup>de</sup>
	2	0 $\pm$ 0,00	66,00 $\pm$ 2,00 <sup>ctg</sup>	75,33 $\pm$ 1,53 <sup>ijklmn</sup>	69,33 $\pm$ 0,76 <sup>tghj</sup>
	3	0 $\pm$ 0,00	76,00 $\pm$ 2,00 <sup>ijklmno</sup>	82,00 $\pm$ 1,00 <sup>lmnopq</sup>	83,33 $\pm$ 0,76 <sup>mnopq</sup>
	4	0 $\pm$ 0,00	80,00 $\pm$ 2,00 <sup>klmnopq</sup>	84,00 $\pm$ 1,00 <sup>mnopq</sup>	85,17 $\pm$ 1,26 <sup>pq</sup>
S3 (15000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 $\pm$ 0,00	58,00 $\pm$ 2,00 <sup>de</sup>	58,67 $\pm$ 1,53 <sup>de</sup>	62,00 $\pm$ 1,00 <sup>ef</sup>
	2	0 $\pm$ 0,00	74,00 $\pm$ 2,00 <sup>ghijkl</sup>	82,00 $\pm$ 2,01 <sup>lmnopq</sup>	73,00 $\pm$ 1,32 <sup>tghj</sup>
	3	0 $\pm$ 0,00	80,67 $\pm$ 1,15 <sup>klmnopq</sup>	84,67 $\pm$ 0,57 <sup>opq</sup>	85,00 $\pm$ 0,50 <sup>opq</sup>
	4	0 $\pm$ 0,00	84,67 $\pm$ 1,15 <sup>opq</sup>	86,67 $\pm$ 1,52 <sup>q</sup>	<b>86,83<math>\pm</math>0,76<sup>q</sup></b>

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan

Tabel 2. Efisiensi penyisihan Cd (%)

Jumlah Sel yang diinokulasi	Hari ke-	K (0 mg L <sup>-1</sup> )	P1 (0,5 mg L <sup>-1</sup> )	P2 (1 mg L <sup>-1</sup> )	P3 (2 mg L <sup>-1</sup> )
S1 (5 000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 ± 0,00	34,07 ± 1,44 <sup>b</sup>	28,00 ± 1,00 <sup>a</sup>	33,17 ± 2,02 <sup>b</sup>
	2	0 ± 0,00	46,00 ± 2,00 <sup>c</sup>	62,00 ± 2,00 <sup>op</sup>	43,17 ± 1,89 <sup>d</sup>
	3	0 ± 0,00	54,00 ± 2,00 <sup>ijkl</sup>	38,67 ± 1,15 <sup>c</sup>	47,00 ± 1,80 <sup>ef</sup>
	4	0 ± 0,00	58,00 ± 2,00 <sup>mn</sup>	49,67 ± 1,53 <sup>gh</sup>	52,83 ± 0,76 <sup>ijk</sup>
	5	0 ± 0,00	62,00 ± 2,00 <sup>op</sup>	53,00 ± 1,00 <sup>ijk</sup>	54,50 ± 0,50 <sup>kl</sup>
S2 (10000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 ± 0,00	41,33 ± 1,15 <sup>cd</sup>	33,67 ± 1,52 <sup>mn</sup>	41,33 ± 1,53 <sup>cd</sup>
	2	0 ± 0,00	48,22 ± 1,67 <sup>cig</sup>	40,00 ± 1,00 <sup>c</sup>	53,22 ± 1,55 <sup>ijk</sup>
	3	0 ± 0,00	59,33 ± 1,15 <sup>ijkl</sup>	44,33 ± 1,53 <sup>c</sup>	57,67 ± 0,76 <sup>ef</sup>
	4	0 ± 0,00	66,67 ± 1,15 <sup>mn</sup>	58,00 ± 1,73 <sup>hi</sup>	59,56 ± 0,42 <sup>ijk</sup>
	5	0 ± 0,00	70,00 ± 2,00 <sup>r</sup>	60,33 ± 1,53 <sup>no</sup>	61,17 ± 1,04 <sup>op</sup>
S3 (15000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 ± 0,00	63,56 ± 0,77 <sup>pq</sup>	49,00 ± 1,00 <sup>gh</sup>	50,78 ± 1,19 <sup>ghi</sup>
	2	0 ± 0,00	68,00 ± 2,00 <sup>r</sup>	51,67 ± 1,53 <sup>hij</sup>	56,67 ± 0,76 <sup>lm</sup>
	3	0 ± 0,00	<b>78,22 ± 1,67<sup>s</sup></b>	54,00 ± 1,00 <sup>ijkl</sup>	62,50 ± 0,50 <sup>op</sup>
	4	0 ± 0,00	79,60 ± 0,69 <sup>s</sup>	62,00 ± 1,00 <sup>op</sup>	65,00 ± 1,00 <sup>q</sup>
	5	0 ± 0,00	70,00 ± 2,00 <sup>r</sup>	66,00 ± 1,00 <sup>no</sup>	65,67 ± 1,76 <sup>op</sup>

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan

Tabel 3. Efisiensi penyisihan Pb (%)

Jumlah Sel yang diinokulasi	Hari ke-	K(0 mg L <sup>-1</sup> )	P1 (0,5 mg L <sup>-1</sup> )	P2 (1 mg L <sup>-1</sup> )	P3 (2 mg L <sup>-1</sup> )
S1 (5 000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 ± 0,00	28,67 ± 4,16 <sup>c</sup>	23,33 ± 1,15 <sup>b</sup>	19,50 ± 0,50 <sup>a</sup>
	2	0 ± 0,00	38,00 ± 2,00 <sup>ef</sup>	39,00 ± 1,00 <sup>ef</sup>	28,50 ± 0,50 <sup>c</sup>
	3	0 ± 0,00	50,00 ± 2,00 <sup>i</sup>	44,67 ± 2,52 <sup>h</sup>	35,00 ± 1,00 <sup>de</sup>
	4	0 ± 0,00	59,33 ± 1,15 <sup>jk</sup>	60,00 ± 2,00 <sup>jk</sup>	38,00 ± 1,00 <sup>ef</sup>
	5	0 ± 0,00	62,67 ± 2,31 <sup>kl</sup>	62,33 ± 2,52 <sup>kl</sup>	44,67 ± 4,91 <sup>h</sup>
S2 (10 000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 ± 0,00	39,33 ± 1,15 <sup>ef</sup>	43,67 ± 1,52 <sup>gh</sup>	31,83 ± 1,26 <sup>cd</sup>
	2	0 ± 0,00	50,67 ± 1,15 <sup>i</sup>	52,00 ± 2,00 <sup>i</sup>	38,00 ± 0,50 <sup>ef</sup>
	3	0 ± 0,00	60,00 ± 2,00 <sup>jk</sup>	59,67 ± 0,57 <sup>jk</sup>	41,67 ± 0,76 <sup>gh</sup>
	4	0 ± 0,00	70,67 ± 3,05 <sup>nop</sup>	65,67 ± 2,08 <sup>lm</sup>	44,17 ± 0,76 <sup>h</sup>
	5	0 ± 0,00	73,33 ± 2,31 <sup>opq</sup>	69,33 ± 0,58 <sup>mno</sup>	49,67 ± 2,56 <sup>i</sup>
S3 (15 000 sel mL <sup>-1</sup> )	1	0 ± 0,00	52,00 ± 5,29 <sup>i</sup>	66,00 ± 2,64 <sup>lm</sup>	40,00 ± 1,00 <sup>fg</sup>
	2	0 ± 0,00	57,33 ± 5,03 <sup>j</sup>	71,00 ± 1,00 <sup>nop</sup>	44,67 ± 0,58 <sup>h</sup>
	3	0 ± 0,00	68,00 ± 2,00 <sup>mn</sup>	74,33 ± 0,58 <sup>pq</sup>	48,83 ± 1,61 <sup>i</sup>
	4	0 ± 0,00	76,00 ± 4,00 <sup>qr</sup>	79,00 ± 1,00 <sup>rs</sup>	49,83 ± 2,84 <sup>i</sup>
	5	0 ± 0,00	80,00 ± 4,00 <sup>s</sup>	<b>81,00 ± 1,73<sup>s</sup></b>	52,33 ± 2,56 <sup>i</sup>

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan