
Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan *Hydrilla* sp. Pada Limbah Industri Kertas

Phytoremediation of Zinc Metal (Zn) using *Hydrilla* sp. on Paper Industry Waste

Cory Novi^{1*}, Sartika¹, Afifah Nur Shobah²

¹Program Studi Kimia Fakultas Sains, Farmasi dan Kesehatan, Universitas Mathla'ul Anwar Banten
Jl. Raya Labuan KM. 23, Saketi Pandeglang Banten, 42273, Indonesia

²Program Studi Biologi Fakultas Sains, Farmasi dan Kesehatan, Universitas Mathla'ul Anwar Banten
Jl. Raya Labuan KM. 23, Saketi Pandeglang Banten, 42273, Indonesia

*Corresponding author: corynovi@unma.ac.id

Receive: August 2018; Revision: December 2018; Accepted: May 2019; Available online: May 2019

Abstrak

Logam seng pada konsentrasi tertentu dapat terakumulasi di dalam air, biota dan sedimen pada perairan yang dapat menimbulkan efek toksik terhadap organisme sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut telah dikembangkan teknologi alternatif yang dikenal dengan fitoremediasi. Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan *Hydrilla* sp. sebagai agen fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi logam seng (Zn) pada limbah industri kertas. Tahap penelitian meliputi uji karakteristik awal air limbah dan *Range Finding Test (RFT)*, penyiapan 75 g *Hydrilla* sp. dan aklimatisasi *Hydrilla* sp. selama 5 hari. *Hydrilla* sp. ditumbuhkan pada reaktor selama 18 hari dalam 5 liter limbah industri kertas dengan konsentrasi 100% dan 5 liter akuades sebagai kontrol (0%). Variabel pengamatan meliputi pengukuran nilai pH, suhu dan identifikasi perubahan warna daun *Hydrilla* sp. Limbah hasil fitoremediasi pada waktu pemaparan 3, 6, 9, 12, 15, dan 18 hari dilakukan analisis logam seng (Zn) dengan *ICP-OES*. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa pada hari ke-0 sampai hari ke-12 persentase logam seng yang hilang sebesar 50% dan pada hari ke-18 mengalami penurunan persentase sebesar 25%.

Kata kunci : Fitoremediasi, *Hydrilla* sp., limbah industri kertas, logam seng.

Abstract

Zinc metal at certain concentrations can accumulate in water, biota, sedimentary in waters which can cause toxic effects on organisms. So as to overcome these problems alternative technologies have been developed known as phytoremediation. The purpose of this research is to utilize *Hydrilla* sp. as a phytoremediation agent to reduce zinc metal concentrations in paper industry wastes. The research phase included preliminary research that is initial characteristic of wastewater and Range Finding Test (RFT), preparation of 75 g of *Hydrilla* sp. and *Hydrilla* sp. acclimatization for 5 days, then *Hydrilla* sp. grown on reactor for 18 days in 5 liters of paper industry waste with 100% concentration and 5 liters of akuadest as control (0%). Observation variables include measuring pH values, temperature and identify discoloration of *Hydrilla* sp. leaves, then the phytoremediation waste at exposure time of 3, 6, 9, 12, 15 and 18 days was analyzed zinc (Zn) with *ICP-OES*. Based on the analysis results show that on days 0 to day 12 the percent amount lost by 50% and on the 18th day the amount of zinc metal lost decreased by 25%.

Keywords : Phytoremediation, *Hydrilla* sp., paper industry waste, zinc metals.

DOI: 10.15408/jkv.v%*vi*%i.8814

1. PENDAHULUAN

Sumber pencemaran logam seng di lingkungan berasal dari kegiatan manusia, aktivitas pertambangan, pembuangan limbah cair industri (Mayildurai, 2015). Industri kertas merupakan industri yang menggunakan bahan organik dan anorganik dalam proses produksinya. Senyawa anorganik utama dalam limbah industri berupa logam berat (Safarrida, 2015). Limbah dari proses pembuatan kertas yang berpotensi mencemari lingkungan adalah logam seng (Nasir, 2014). Logam seng digunakan dalam industri kertas sebagai *sludge* untuk bahan baku pembuatan kertas bungkus (Dian dkk., 2015).

Logam seng memiliki sifat akumulatif di lingkungan (Maddusa, 2017). Toksisitas logam seng dengan konsentrasi tinggi dalam waktu yang lama dapat mempengaruhi sintesis klorofil sehingga menghambat proses fotosintesis (Phukan, 2015). Keberadaan logam seng di perairan dapat membahayakan keberlangsungan lingkungan dan mempengaruhi semua komponen ekosistem lingkungan (Hassan, 2016). Efek logam seng dalam suatu sistem perairan ditentukan oleh beberapa faktor seperti kuantitas logam berat dan komposisi fraksi terlarut dan partikulat logam berat didalam perairan (Najamuddin, 2016).

Logam seng merupakan nutrisi esensial yang dibutuhkan tumbuhan dalam konsentrasi relatif rendah untuk pembentukan klorofil, hormon tumbuh asam indolasetat (auksin) yang berperan dalam pembentukan tunas. Auksin mempengaruhi beberapa aspek perkembangan tumbuhan, salah satu fungsinya adalah merangsang pemanjangan sel pada tunas muda yang sedang berkembang. Auksin dari tunas bergerak turun ke daerah pemanjangan sel dan merangsang pertumbuhan sel-sel tersebut (Ningsih, 2014). Konsentrasi yang lebih tinggi dari logam seng sampai tingkat tertentu dapat mengganggu perairan dan mutu air (Soeprbowati, 2013). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) disebutkan bahwa baku mutu konsentrasi logam seng dalam air limbah yaitu 50 mg/L.

Hydrilla sp. adalah salah satu fitoremediasi yang memiliki kemampuan mengolah limbah berupa logam berat, zat organik maupun anorganik (Alghaffar, 2016). *Hydrilla* sp. sebagai tumbuhan air memiliki

potensi dalam menurunkan kadar pencemar air limbah yang memiliki kadar organik tinggi (Ningsih, 2014). Menurut Mutmainnah (2015), *Hydrilla* sp. memiliki kemampuan mengakumulasi logam timbal (Pb) sampai hari ke-20. *Hydrilla* sp. mampu menurunkan logam timbal (Pb) pada limbah industri kertas (Novi, 2017).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi *Hydrilla* sp. sebagai agen fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi logam seng (Zn) pada limbah industri kertas.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kontainer, pompa air, timbangan, nampan plastik, termometer, indikator universal, pinset, penjepit tang, gelas ukur 50 mL, botol sampel, aluminium foil, kertas label, *bulb*, pipet volume 50 mL, tabung *hot block*, *hot block digestion*, buret digital dan instrumen ICP-OES Agilent Technologies 5100 untuk analisis kadar logam seng dalam limbah cair industri kertas sebelum dan setelah dilakukan fitoremediasi.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 75 g *Hydrilla* sp. yang bebas polutan, akuades, pasir Malang sebagai media tanam dalam proses aklimatisasi, limbah cair yang mengandung logam seng diperoleh dari industri kertas yang terletak di daerah Banten, asam nitrat (HNO₃) 63% dan asam klorida (HCl) 37% yang digunakan sebagai bahan untuk proses destruksi dalam analisis logam seng dengan ICP-OES.

Prosedur Penelitian

Aklimatisasi *Hydrilla* sp.

Tahap aklimatisasi *Hydrilla* sp. dilakukan selama 5 hari dalam reaktor yang berisi akuades dan pasir Malang kemudian diambil 75 g *Hydrilla* sp. Untuk perlakuan fitoremediasi dengan ditumbuhkan dalam reaktor.

Range Finding Test (RFT)

Tahap *Range Finding Test (RFT)* awal dilakukan dengan cara menumbuhkan *Hydrilla* sp. dalam reaktor limbah dengan konsentrasi 100%. Pengamatan dilakukan terhadap perubahan warna daun *Hydrilla* sp. yang dilakukan setiap hari untuk menentukan konsentrasi limbah yang dapat diterima oleh

Hydrilla sp. sampai hari ke-7 menunjukkan kondisi fisik *Hydrilla sp.* tetap segar, maka konsentrasi tersebut dapat digunakan sebagai konsentrasi uji.

Pembuatan Media Tumbuh

Pembuatan media tumbuh dilakukan dengan menyiapkan 2 buah kontainer berdiameter 45 cm (reaktor). Media tumbuh yang digunakan adalah 5 L akuades dan 5 L limbah cair industri kertas. Selanjutnya masing-masing reaktor diisi dengan 75 g *Hydrilla sp.*

Pengamatan pH, Suhu dan Perubahan Warna Daun

Penelitian ini dilakukan selama 18 hari pada reaktor limbah dan reaktor kontrol (Caroline, 2015). Cara pengamatan untuk menguji pH, suhu dan perubahan warna daun *Hydrilla sp.* antara lain : Pengamatan pH menggunakan indikator universal yang dilakukan dengan cara memasukkan indikator universal kedalam reaktor limbah dan reaktor kontrol. Pengamatan suhu menggunakan termometer yang dilakukan dengan cara memasukkan termometer kedalam reaktor limbah dan reaktor kontrol. Pengamatan perubahan warna daun *Hydrilla sp.* yang dilakukan dengan cara mengamati perubahan warna daun *Hydrilla sp.* pada reaktor limbah dan reaktor kontrol selama uji fitoremediasi berlangsung.

Persiapan Sampel

Proses pengambilan sampel limbah cair industri kertas dengan menggunakan gelas ukur 50 mL pada reaktor limbah yang dilakukan sebanyak 7 kali pada hari ke 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18. Sampel limbah cair industri kertas disimpan dalam botol reagen dan diberi label.

Analisis Logam Seng (Zn) dengan ICP-OES

Analisis logam seng dilakukan dengan cara memipet 50 mL limbah cair industri kertas hasil fitoremediasi kemudian dimasukkan kedalam tabung *hot block*, ditambahkan 2 mL asam nitrat (HNO_3) 63% dan 5 mL asam klorida (HCl) 37%, selanjutnya dipanaskan (*digest*) dalam *hot block digestion* pada suhu 90-95 °C selama 60 menit. Setelah itu, didinginkan pada suhu ruang (23-25 °C). Tahapan selanjutnya dilakukan analisis kandungan logam seng dengan metode

American Public Health Association (APHA) 3120B menggunakan ICP-OES Agilent Technologies 5100.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Pengujian Limbah Industri Kertas

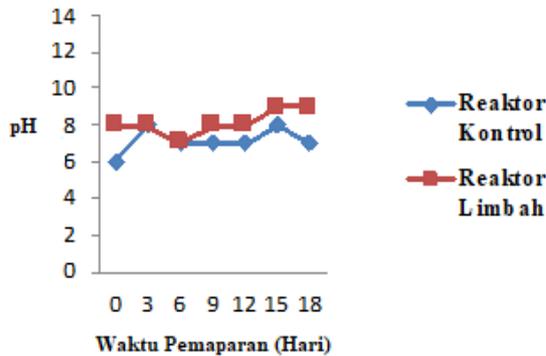
Berdasarkan baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 bahwa baku mutu Amonia 0,5 mg/L, TSS 400 mg/L dan COD 50 mg/L. Hasil pengujian karakteristik awal pada limbah cair industri kertas menunjukkan bahwa kandungan amonia 0.9286 mg/L yang dapat memberikan efek toksik pada organisme, *Total Suspended Solid (TSS)* 639.00 mg/L yang menyebabkan kekeruhan sehingga dapat menghalangi cahaya matahari yang masuk kedalam tanaman air dan *Chemical Oxygen Demand (COD)* 250.9308 mg/L yang mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Semakin banyak zat pencemar di dalam air, artinya kadar COD akan semakin besar sehingga kualitas air yang semakin rendah (Purnawati, 2015). Berdasarkan hasil uji Amonia, TSS dan COD melebihi baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah.

Baku mutu konsentrasi logam seng dalam air limbah dalam Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 adalah 50 mg/L. Konsentrasi logam seng dalam pengujian karakteristik awal diperoleh sebesar 0.04 mg/L yang menunjukkan bahwa limbah cair industri kertas memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah. Uji karakteristik dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal fisik dan kimia pada limbah cair industri kertas.

Berdasarkan intensitas kandungan logam seng yang dapat meningkat akibat proses akumulasi sehingga *Hydrilla sp.* yang tercemar logam seng dapat mengakumulasi logam tersebut dalam jaringan tubuhnya. Semakin tinggi kandungan logam dalam perairan maka semakin tinggi kandungan logam seng yang terakumulasi pada *Hydrilla sp.* tersebut. Hal ini berkaitan dengan sifat logam seng yang sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan Nasir (2014).

Pengamatan pH dan Suhu

Pengamatan pH dan suhu pada reaktor kontrol dan reaktor limbah dilakukan pada hari ke-0, 3, 6, 9, 12, 15 dan 18.

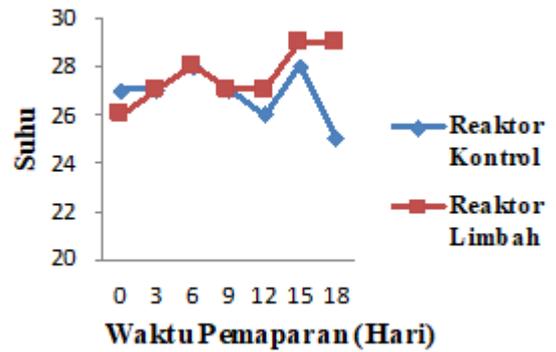


Gambar 1. Grafik pH pada Reaktor

Hasil pengamatan pada reaktor kontrol menunjukkan pH pada hari ke-0 yaitu 6, kemudian meningkat sampai hari ke-3 menjadi 8 dan mengalami penurunan yang konstan dengan nilai 7 sampai hari ke-12. Setelah itu, meningkat kembali menjadi 8 pada hari ke-15 dan pH menjadi netral di hari ke-18, sedangkan pada reaktor limbah menunjukkan pH hari ke-0 yaitu 8 dengan nilai yang konstan sampai hari ke-3, kemudian mengalami penurunan menjadi 7 pada hari ke-6 dan nilainya meningkat konstan pada hari ke-9 sampai hari ke-12. Setelah itu, terus meningkat menjadi 9 pada hari ke-15 sampai hari ke-18 (Gambar 1).

Kenaikan pH selama pengamatan terjadi seiring bertambahnya waktu running perlakuan fitoremediasi. Perubahan nilai pH pada hari ke-0 sampai hari ke-18 terjadi secara fluktuatif. Nilai pH air dapat menentukan keberadaan unsur-unsur yang bersifat racun bagi organisme dan ion-ion unsur hara yang diserap (Mutmainnah, 2015).

Naiknya nilai pH dapat menurunkan kelarutan oksigen air dan meningkatkan toksisitas logam seng sedangkan rendahnya nilai pH akan menyebabkan penurunan jumlah serapan ion logam Zn dikarenakan kemampuan untuk menyerap ion logam Zn semakin lemah (Fitria, 2015) dan berdampak secara fisik pada tumbuhan yaitu merusak sistem perakaran terutama akar-akar muda sehingga proses rizhofiltrasi menjadi terhambat, pH optimum dalam penggunaan tumbuhan pada proses fitoremediasi yaitu 7 (Siregar, 2010).



Gambar 2. Grafik Suhu pada Reaktor

Hasil pengamatan suhu pada reaktor kontrol menunjukkan bahwa pada hari ke-0 yaitu 27°C dan meningkat konstan sampai hari ke-3 kemudian pada hari ke-6 mengalami peningkatan menjadi 28°C. Setelah itu, pada hari ke-9 menurun menjadi 27°C dan terus menurun sampai hari ke-12 menjadi 26°C. Kemudian meningkat kembali menjadi 28°C pada hari ke-15 dan mengalami penurunan menjadi 25 °C pada hari ke-18. Sedangkan pada reaktor limbah menunjukkan nilai suhu 26 °C pada hari ke-0 dan mengalami peningkatan pada hari ke-3 menjadi 27 °C dan meningkat sampai hari ke-6 menjadi 28 °C. Setelah itu, menurun pada hari ke-9 sampai hari ke-12 sebesar 27 °C dan terus meningkat konstan pada hari ke-18 sebesar 29 °C (Gambar 2).

Secara umum perubahan suhu mengalami kenaikan yang fluktuatif. Suhu merupakan faktor lingkungan yang dapat berperan dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan yang mempengaruhi enzim dalam proses fotosintesis. Nilai suhu yang tinggi dapat berpengaruh pada kadar oksigen. Oksigen bereaksi dengan air akan berikatan dengan ion logam sehingga membentuk ion-ion baru. Semakin tinggi nilai suhu maka kadar oksigen akan semakin berkurang (Caroline, 2015). Aktivitas fotosintesis tidak akan berjalan baik dibawah suhu 5 °C dan diatas 50 °C (Urifah, 2017). Suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman pada proses fitoremediasi berkisar antara 27-30 °C (Siregar, 2010).

Pada pengamatan pH menunjukkan perubahan nilai pH secara fluktuatif. Peningkatan nilai pH disebabkan oleh proses fotosintesis yang menghasilkan O₂ dan melepas ion OH⁻ ke dalam air serta mengambil ion H⁺ yang terdapat pada air. Sedangkan

proses penurunan pH dapat terjadi karena ion H^+ yang disebabkan oleh pembusukan bagian tumbuhan yang rontok yang berdampak secara fisik pada tumbuhan yaitu merusak sistem perakaran terutama akar-akar muda sehingga proses rizhofiltrasi menjadi terhambat (Rahadian, 2017).

Nilai pH dipengaruhi oleh suhu. Dalam hal ini, perubahan suhu mengalami kenaikan yang fluktuatif sehingga menyebabkan kenaikan kelarutan oksigen air dan nilai pH menjadi naik. Nilai suhu yang tinggi dapat berpengaruh pada kadar oksigen. Oksigen bereaksi dengan air pada akan berikatan dengan ion logam sehingga membentuk ion-ion baru. Semakin tinggi nilai suhu maka kadar oksigen akan semakin berkurang (Caroline, 2015).

Pengamatan Perubahan Warna Daun *Hydrilla sp.*

Pengamatan dilakukan setiap hari selama 20 hari pada reaktor kontrol dan reaktor limbah dengan mengamati perubahan warna daun *Hydrilla sp.* secara visual.

Hasil pengamatan pada reaktor kontrol menunjukkan perubahan warna daun *Hydrilla sp.* pada hari ke-0 berwarna hijau segar sampai hari ke-9, kemudian pada hari ke-12 mengalami perubahan warna menjadi warna kuning kecokelatan sedangkan pada reaktor limbah warna daun *Hydrilla sp.* pada hari ke-0 berwarna hijau segar sampai hari ke-6, kemudian pada hari ke-9 mengalami perubahan warna daun menjadi warna kuning kecokelatan.

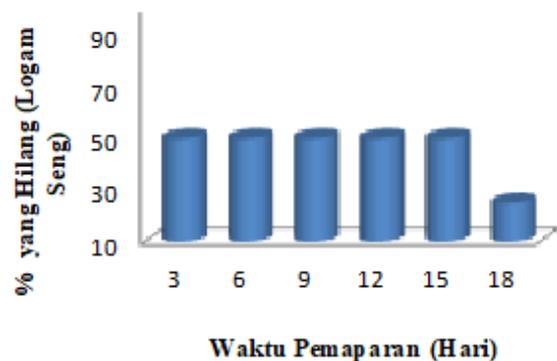
Perubahan warna daun *Hydrilla sp.* dipengaruhi oleh logam seng yang dapat menghambat sintesis klorofil pada daun *Hydrilla sp.* dan kurangnya cahaya yang diubah menjadi energi kimia dalam bentuk ATP dan NADPH + H selanjutnya digunakan untuk fiksasi CO_2 dengan enzim rubisco sebagai katalisator untuk pembentukan glukosa (Mutmainnah, 2015).

Menurut Caroline (2015) perubahan warna daun pada tanaman di hari ke-12 sampai hari ke-18 pada reaktor yang berisi air limbah menunjukkan perubahan warna coklat dan bercak kehitamannya semakin bertambah ini terjadi selain itu, pada tangkai daun mengalami pembusukan. Tumbuhan terpapar logam berat dalam waktu yang semakin lama sehingga penghambatan sintesis klorofil juga semakin tinggi.

Hydrilla sp. yang terpapar logam seng dalam waktu yang lama dengan jumlah yang banyak akan menyebabkan *Hydrilla sp.* mengalami stres sehingga membentuk zat *phytochelatin* dan *metallothionin*. *Phytochelatin* adalah kelompok protein yang memiliki asam amino sistein, glisin dan asam glutamat yang menginduksi tanaman sedangkan *metallothionin* adalah protein transport yang dapat memindahkan kelebihan logam seng dari satu tempat ke tempat yang lain untuk menghindari efek toksik yang ditimbulkan terhadap tumbuhan. *Phytochelatin* dan *metallothionin* bekerjasama dalam mengikat logam seng yang ada didalam air. Setelah *phytochelatin* mengikat logam seng maka zat *metallothionin* akan menempatkan logam seng ke suatu sel atau jaringan dalam akar untuk menyimpan logam seng, sehingga keberadaan logam seng tidak akan mengganggu metabolisme tanaman (Mutmainnah, 2015).

Analisis Logam Seng (Zn) dengan ICP-OES

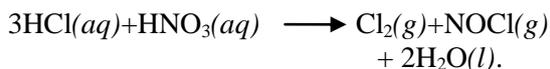
Berdasarkan hasil analisis kadar logam seng (Zn) pada limbah cair industri kertas yang dilakukan pengambilan limbah pada hari ke-3, 6, 9, 12, 15 dan 18 menunjukkan perubahan fluktuatif dengan persentase logam seng yang hilang dalam variasi waktu pemaparan yang berbeda (Gambar 3).



Gambar 3. Grafik Persentase Logam

Pada penelitian ini terlebih dahulu dipipet 50 mL sampel kemudian dimasukkan ke dalam tabung hot block 50 mL untuk mengurangi kehilangan mineral akibat penguapan yang akan membentuk oksida logam. Oksida ini kemudian dilarutkan ke dalam 2 mL asam nitrat (HNO_3) dan 5 mL

asam klorida (HCl). Sehingga reaksinya sebagai berikut :



Setelah itu, dipanaskan (digest) pada suhu 90-95 °C selama 60 menit dan didinginkan pada suhu 23-25 °C kemudian sampel diinjeksikan ke ICP-OES. Hasil analisis limbah cair industri kertas yang dilakukan dengan ICP-OES memiliki tingkat sensitifitas tinggi dengan batas deteksi yang umumnya rendah untuk sebagian besar elemen dengan rentang dari 1–100 mg/L, hasil analisis yang akurat, gangguan kimia yang relatif rendah, stabilitas tinggi, *Linear Dynamic Range (LDR)* yang lebar (4-6 kali lipat) dan biaya analisis yang efisien (Pertiwi, 2017).

Menurut Mangkoedihardjo (2010), penurunan konsentrasi logam seng diakibatkan oleh proses penguraian yaitu fitoekstraksi, fitodegradasi dan fitovolatilisasi. Tumbuhan memperoleh bahan-bahan yang diperlukan untuk pertumbuhan melalui akar dengan menyerap air dan mineral dari lingkungan sekitarnya secara osmosis (Yuliani, 2013). Proses rizofiltrasi yaitu adsorpsi atau absorpsi logam oleh akar tanaman. Dalam akumulasi logam seng oleh tumbuhan, logam harus dibawa ke sekitar akar (rhizosfer) agar terjadi penyerapan logam-logam yang larut dalam air. Tumbuhan akan membentuk suatu enzim reduktase di membran akar.

Enzim reduktase berfungsi mereduksi logam yang selanjutnya diangkut melalui mekanisme didalam membran akar. Setelah logam menembus endodermis akar, logam akan mengikuti aliran transpirasi yang selanjutnya terjadi lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman sebagai upaya untuk mencegah keracunan logam terhadap sel. Tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam didalam organ tertentu seperti akar dan selanjutnya diangkut melalui *xylem* dan *floem* ke bagian tumbuhan yang lain seperti batang, tangkai dan daun (Caroline, 2015).

4. SIMPULAN

Adanya perubahan pH, suhu dan warna daun *Hydrilla* sp. dari warna hijau menjadi warna kuning kecokelatan setelah uji

fitoremediasi. Variasi lama pemaparan dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa *Hydrilla* sp. memiliki kemampuan menyerap logam seng (Zn) pada hari ke-3, 6, 9, 12, dan 15 persentase logam seng yang hilang sebesar 50% sedangkan pada hari ke-18 mengalami penurunan persentase sebesar 25%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alghaffar HN. 2016. Phytoremediation of Chromium and Copper from aqueous solutions using *Hydrilla verticillata*. *Journal of Science*. 57(1): 78-86.
- Caroline J, Guido AM. 2015. Fitoremediasi logam timbal (Pb) menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) pada limbah industri peleburan tembaga dan kuningan. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. 3(3): 733-744.
- Dian AI, Lisna E, Rossi MT, Han R. 2015. Pembuatan *pulp* untuk kertas bungkus dari bahan serat alternatif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 33(4): 283-302.
- Fitria SN, Unggul PJ, Gancang S. 2014. Potensi tanaman genjer (*Limnocharis flava*) untuk mengurangi kadar logam berat (Pb dan Cu) serta radionuklida dengan metode fitoremediasi. *Physics Student Journal*. 2(1): 688-692.
- Hassan NA. 2016. Phytoremediation of lead by *Hydrilla verticellata* lab. work. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 5(6): 271-278.
- Maddusa SS. 2017. Kandungan logam berat timbal (Pb), merkuri (Hg), zink (Zn) dan arsen (As) pada ikan dan air sungai tondano sulawesi utara. *Journal of Public Health Science*. 9(2): 153-159.
- Mangkoedihardjo, Sarwoko, Ganjar S. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta(ID): Graha Ilmu.
- Mayildurai M, Ramasubbu A, Velmani N. 2015. ICP-OES investigations of heavy metal contents in cosmetic products. *Journal of Pharmacy Research*. 9(1): 27-30.
- Mutmainnah F, Arinafril, Suheryanto. 2015. Fitoremediasi logam timbal (Pb) dengan menggunakan *Hydrilla verticillata* dan

- Najas indica*. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 12(2): 90-103.
- Najamuddin. 2016. Distribusi dan perilaku Pb dan Zn terlarut dan partikulat di perairan Estuaria Jeneberang Makassar. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 8(1): 11-28.
- Nasir S, Yuni EP, Ira E. 2014. Penyisihan ion kadmium pada limbah cair pabrik *pulp* dan *paper* dengan menggunakan membran keramik. *Jurnal Teknik Kimia* 20 (2): 7-16.
- Ningsih IS, Wahyu L, Yelmida A. 2014. Fitoremediasi Zn dari limbah cair pabrik pengolahan karet dengan pemanfaatan *Pistia stratiotes* L. *JOM FMIPA*. 1(2): 1-9.
- Novi C. 2017. Fitoremediasi logam timbal (Pb) dari limbah industri kertas dengan pemanfaatan *Marsilea crenata* dan *Hydrilla verticillata*. *Jurnal Scientia Pharmaceutica*. 3(2): 29-33.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air : 297-299.
- Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3): 1-313.
- Pertiwi, C. 2017. *Analisis Kandungan Logam Berat pada Kerang di Pantai Sari Ringgung dan Sekitarnya dengan Metode ICP-OES*. Skripsi Fakultas MIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Phukan, P. 2015. Heavy Metal Uptake Capacity of *Hydrilla verticillata*: A Commonly Available Aquatic Plant. *International Research Journal of Environment Sciences* 4 (3): 35-40.
- Purnamawati, 2015. Penurunan Kadar Rhodamin B Dalam Air Limbah Dengan Biofiltrasi Sistem Tanaman. [Tesis] Pascasarjana Universitas Udayana. Bali.
- Rahadian R, Endro S, Sri S. 2017. Efisiensi penurunan COD dan TSS dengan fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6(3): 1-8.
- Safarrida A. 2015. Fitoremediasi kandungan kromium pada limbah cair menggunakan tanaman air. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*. 2(2): 55-59.
- Siregar, Ulfah J, Chairil AS. 2010. *Fitoremediasi: Prinsip dan Prakteknya dalam Restorasi Lahan Paska Tambang di Indonesia*. Seameo Biotrop: Jakarta.
- Soeprobawati TR. 2013. Potensi mikroalga sebagai agen bioremediasi dan aplikasinya dalam penurunan konsentrasi logam berat pada instalasi pengolah air limbah industri. *Jurnal Prosiding Seminar Universitas Diponegoro*: Semarang.
- Urifah D. 2017. Adsorpsi logam timbal (Pb) oleh tanaman *Hydrilla (Hydrilla verticillata)*. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 11(2): 100-108.
- Yuliani DE, Saibun S, Teguh W. 2013. Analisis kemampuan kiambang (*Salvinia molesta*) untuk menurunkan konsentrasi ion logam Cu (II) pada media tumbuh air. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 10(2): 68-73.