

# Metode ERASI (*Electro Assisted Phytoremediation-Aeration*) dengan Tanaman Akar Wangi (*Vetiveira zizaniodes L*) untuk Remediasi Air Limbah Logam Berat Pb dan Fe

Rudy Syahputra<sup>1,a)</sup>, Iis Setianingrum<sup>1,b)</sup>, Ega Dwi Sintadani<sup>1,c)</sup>, Vivin Viani<sup>4,d)</sup>, Durrotul Uuliyah<sup>1,e)</sup> dan M. Faiq Faridani<sup>1,f)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, <sup>2</sup>Environmental Remediation Research Group, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang KM 14,5, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55584

<sup>a</sup> rudy.syahputra@uii.ac.id (corresponding author)

<sup>b)</sup>15612151@students.uii.ac.id

<sup>c)</sup>15612080@students.uii.ac.id

<sup>d)</sup>15612097@students.uii.ac.id

<sup>e)</sup>15612082@students.uii.ac.id

<sup>f)</sup>14523126@students.uii.ac.id

## Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pemanfaatan tanaman akar wangi (*Vetiveira zizaniodes L*) sebagai tanaman akumulator pada remediasi air limbah logam berat Pb dan Fe dengan metode ERASI (*Electro Assisted Phytoremediation-Aeration*). Metode ini merupakan gabungan proses fitoremediasi dengan bantuan listrik yang dialirkan melalui elektroda untuk membantu mobilitas ion logam dari sumber limbah ke arah akar tanaman serta penambahan aerasi untuk meningkatkan konsentrasi oksigen di dalam limbah. Kemampuan kinerja proses ERASI akan dibandingkan dengan proses Fito-Aerasi dan Fitoremediasi berdasarkan pada parameter perubahan morfologi tanaman dan penurunan konsentrasi logam berat Pb dan Fe pada limbah cair. Dilakukan juga pengukuran konsentrasi klorofil sebagai parameter tingkat stress pada tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses ERASI mampu menurunkan secara signifikan konsentrasi logam pada limbah cair sebesar 98,99% untuk logam Pb dan 95,27% untuk logam Fe.

*Kata-kata kunci:* Aerasi, Akar wangi, EAPR, ERASI, Fitoremediasi

## PENDAHULUAN

Aktivitas pembangunan sektor industri semakin meningkat setiap tahun. Keadaan ini berbanding lurus dengan peningkatan permasalahan terhadap kelestarian lingkungan. Dalam kegiatan industri tersebut menghasilkan berbagai macam substansi kimia berbahaya, salah satu substansi tersebut adalah logam berat seperti tembaga (Cu) dan timbal (Pb). Logam berat memiliki sifat yang stabil dan sulit untuk diuraikan. Oleh sebab itu, diperlukan tindakan remediasi untuk membersihkan polutan di lingkungan tanah dan air.

Teknik remediasi air yang sering digunakan adalah fitoremediasi yang merupakan teknologi remediasi dengan biaya rendah serta memiliki kemampuan untuk remediasi logam berat seperti kadmium (Cd), seng (Zn), timbal (Pb), tembaga (Cu), kobalt (Co), selenium (Se), nikel (Ni) dan arsen (Ar) [1]. Fitoremediasi dapat menggunakan tanaman akumulator untuk mengurangi konsentrasi logam berat dalam air limbah maupun tanah. Namun, metode fitoremediasi memiliki kelemahan yakni proses pertumbuhan biomassa yang lambat dan jangkauan akar tanaman yang rendah, sehingga akumulasi polutan di bagian tanaman berlangsung

lambat. Oleh sebab itu metode fitoremediasi telah diperbaiki dengan bantuan arus listrik (*electro-assisted*) yaitu dikenal dengan metode *electro-assisted phytoremediation* (EAPR) [2-3]. Pada sistem EAPR, tanaman ditumbuhkan secara hidroponik dan proses remediasi polutan dibantu dengan aliran listrik searah (arus DC). Elektroda yang digunakan dalam proses EAPR berfungsi untuk mobilisasi ion logam melalui proses elektromigrasi sehingga ion logam akan terdorong dan terakumulasi pada daerah akar tanaman yang selanjutnya diikuti dengan proses absorpsi oleh akar tanaman. Keunggulan metode EAPR yaitu (i) dapat menggunakan tanaman yang memiliki akar pendek, (ii) laju absorpsi logam oleh tanaman lebih meningkat, dan (iii) remediasi logam berat dari limbah cair berlangsung dalam waktu singkat. Akan tetapi, metode ini masih memiliki kelemahan yaitu efek toksisitas berlangsung dengan cepat yang disebabkan oleh efek laju penyerapan polutan oleh tanaman yang berlangsung cepat sehingga akumulasi polutan ditanaman menjadi sangat tinggi dalam waktu singkat yang menyebabkan tanaman cepat mengalami kematian [4].

Untuk mengatasi masalah tersebut, pada penelitian ini akan digunakan tambahan aerasi yaitu proses menambahkan aliran oksigen ke dalam limbah cair sehingga akan meningkatkan konsentrasi oksigen dalam limbah. Penambahan konsentrasi oksigen diharapkan mampu menjaga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik pada rentang waktu proses remediasi [5]. Pada penelitian ini akan dipaparkan metode yang lebih efektif untuk menangani kontaminan logam berat Pb dan Fe dari limbah cair dengan metode EAPR-Aerasi (*electro-assisted phytoremediator- Aeration*) yang selanjutnya disingkat dengan metode ERASI menggunakan tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides L*).

## TINJAUAN PUSTAKA

### Fitoremediasi dengan tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides L*)

Remediasi adalah kegiatan untuk membersihkan permukaan tanah atau air yang tercemar. Beberapa hasil analisa menyatakan bahwa teknik remediasi tanah dan air yang tercemar limbah logam berat memerlukan biaya yang mahal, memakan waktu dan bahkan merusak lingkungan. Terdapat 2 jenis remediasi tanah yaitu *in-situ* (pembersihan di lokasi) dan *ex-situ* (pembersihan di luar lokasi). Remediasi secara *in-situ* dapat menggunakan jamur atau bakteri (bioremediasi) atau dengan menggunakan tanaman akumulator logam berat (fitoremediasi) untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Salah satu tanaman hiperakumulator logam berat adalah akar wangi. Tanaman akar wangi merupakan tanaman yang dapat dibudidayakan secara hidroponik sehingga dapat digunakan untuk proses remediasi pada tanah dan air [6]. Menurut penelitian sebelumnya pada media tanah, tanaman akar wangi mampu menyerap logam tembaga (Cu) hingga 15 mg/kg. Penelitian lain menyimpulkan tanaman akar wangi mampu hidup dengan kondisi tanah tercemar logam tembaga (Cu) 50-100 mg/kg [7].

### Aplikasi EAPR pada pengolahan limbah logam berat

Aplikasi proses EAPR pada media air pertama kali dilakukan oleh [2] dengan menggunakan tanaman tanah yaitu selada (*Lactuta sativa*) yang tumbuh dalam media limbah yang mengandung Cd. Hasil penelitian menunjukkan akumulasi signifikan logam Cd (> 90%) pada bagian akar dan batang tanaman. Penelitian mengenai EAPR juga dilakukan oleh [8] pada media air, penelitian ini memperlihatkan hasil yang signifikan dari penyerapan logam As (>90%) pada tanaman *Lemna Minor* dibandingkan dengan proses fitoremediasi biasa. Aplikasi metode EAPR menggunakan tanaman air di daerah tropis seperti eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) menunjukkan hasil yang sangat baik seperti penelitian yang telah dilakukan oleh [3-4]. Hasil polutan menunjukkan bahwa penyerapan logam Cu dan Pb lebih tinggi dibandingkan dengan metode fitoremediasi.

### Aplikasi proses aerasi pada pengolahan limbah logam berat

Teknik aerasi adalah satu usaha pengolahan limbah cair dengan cara menambahkan oksigen ke dalam limbah cair. Penambahan oksigen ke dalam air limbah dapat melalui dua cara, yaitu memasukkan udara ke dalam air limbah dan memaksa air ke atas untuk berkontak dengan oksigen [5]. Beberapa analisa lain menggunakan aplikasi aerasi dalam proses pengolahan air limbah karena mampu mengurangi konsentrasi zat pencemar, serta menghasilkan udara untuk konsumsi bakteri agar efektif memakan kandungan organik dalam limbah, seperti yang dilakukan oleh [9]. Tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides L*) merupakan tanaman akumulator limbah yang baik dan sering digunakan sebagai akumulator logam berat. Jaringan tanaman tersebut juga memiliki daya adaptasi yang luas dan mampu tumbuh pada berbagai lokasi ekstrim sehingga cocok digunakan untuk remediasi logam berat [7].

## METODE PENELITIAN

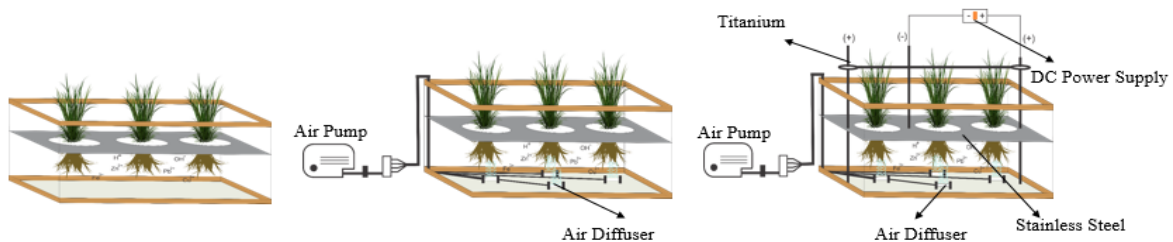
### Pemilihan tanaman dan proses aklimasi

Tanaman dipilih berdasarkan perkiraan umur yang sama melalui ciri morfologi tanaman seperti jumlah rumpun, tinggi tanaman, dan panjang akar. Tanaman akar wangi dibersihkan terlebih dahulu dengan air untuk menghilangkan sisa pengotor di akar dan daun tanaman. Selanjutnya tanaman diaklimasi (proses adaptasi terhadap lingkungan) selama 3 hari dengan air segar dan dilanjutkan dengan larutan Hoagland untuk menumbuhkan tanaman dengan sistem hidroponik. Larutan Hoagland dibuat dengan mencampurkan 0,00676 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0,252 g  $\text{KNO}_3$ , 0,59 g  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0,20 g  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dalam 1 L aquades.

### Proses remediasi logam Pb dan Fe

Larutan pencemar logam berat dibuat dengan konsentrasi logam Pb 45 mg/L dan Fe 11 mg/L yang dibuat dalam 15 liter larutan Hoagland. Tanaman akar wangi yang telah diaklimasi, selanjutnya digunakan untuk proses remediasi dengan metode fitoremediasi, fito-aerasi dan ERASI. Proses remediasi ini dilakukan selama 14 hari dengan mengamati parameter perubahan morfologi tanaman. Monitoring kinerja proses dilakukan dengan sampling air limbah sebanyak 1 kali dalam sehari pada tiga bagian titik berbeda di dalam reaktor.

Setelah proses remediasi selesai, dilakukan analisis terhadap penurunan konsentrasi logam berat pada air limbah dengan instrumen Spektroskopi Serapan Atom Nyala. Bagian daun tanaman dipotong-potong dan direndam dalam 10 mL aseton selama 24 jam, kemudian konsentrasi klorofil pada daun tanaman dianalisis dengan Spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan tingkat *stress* pada tanaman. Gambar 1 menunjukkan desain reaktor dan perbedaan proses ERASI, fito-aerasi dan fitoremediasi. Laju alir udara yang diberikan pada metode fito-aerasi dan ERASI sebesar 10 L/menit dengan tegangan DC pada metode ERASI sebesar 2 V yang dihubungkan melalui elektroda katoda *stainless steel* dan anoda titanium.

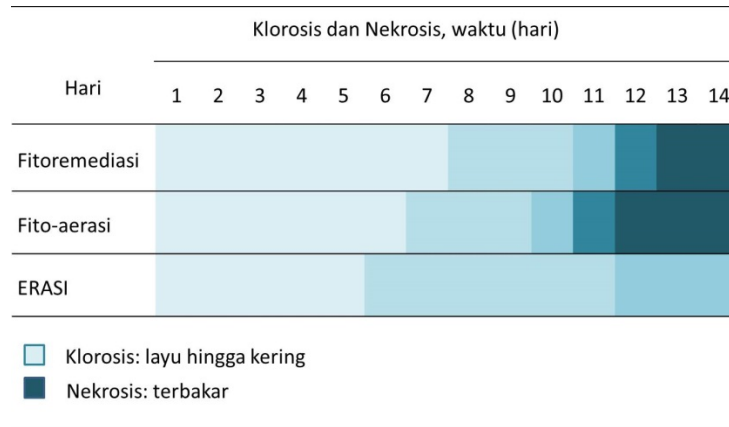


Gambar 1. Desain reaktor fitoremediasi (a), fito-aerasi (b) dan ERASI (c).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perubahan morfologi tanaman

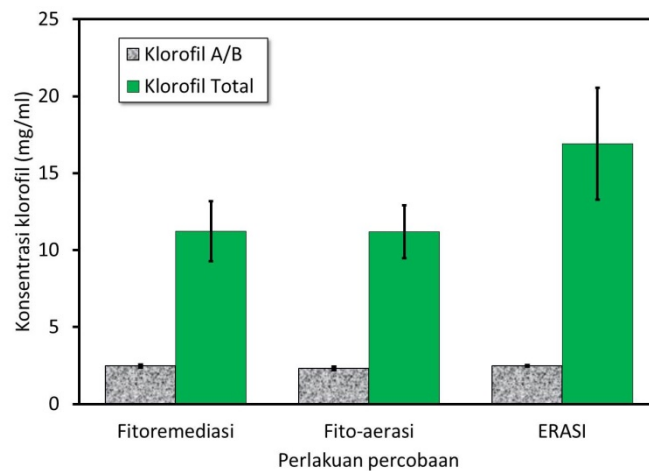
Selama proses penelitian, dilakukan pengamatan secara berkala terhadap perubahan morfologi daun tanaman sebagai indikasi *stress* tanaman [3]. Pada awal percobaan, tanaman akar wangi memiliki keadaan morfologi daun berwarna hijau dan segar. Morfologi tanaman akar wangi mulai mengalami perubahan setelah digunakan untuk proses remediasi limbah logam berat Pb dan Fe, seperti perubahan warna pada daun dan keadaan daun yang mulai layu hingga terbakar. Perubahan morfologi pada daun tanaman akibat proses ERASI, fito-aerasi dan fitoremediasi ditunjukkan pada Gambar 2. Secara umum tanaman akar wangi yang digunakan dalam proses ERASI tidak mengalami klorosis secara signifikan, bahkan daun tanaman tidak menunjukkan terjadinya keadaan nekrosis sampai akhir waktu proses remediasi. Hal yang berbeda ditunjukkan pada proses fito-aerasi yang telah mengalami proses nekrosis pada hari ke-11 dan fitoremediasi pada hari ke-12. Waktu proses remediasi logam Pb dan Fe berlangsung lebih lama, hal ini karena tingkat toksisitas logam Pb tidak mengganggu metabolisme pertumbuhan tanaman akar wangi dan tidak menghambat sintesis klorofil. Klorosis dapat terjadi jika logam berat menghambat kerja enzim yang mengkatalis sintesis klorofil, sedangkan, nekrosis merupakan kematian sel, jaringan, atau organ tumbuhan sehingga timbul bercak, bintik, atau noda [10].



Gambar 2. Perubahan morfologi tanaman akar wangi pada proses ERASI, fito-aerasi dan fitoremediasi

**Konsentrasi klorofil dan tingkat stress tanaman**

Proses penyerapan logam Pb dan Fe mempengaruhi tingkat stress tanaman yang dapat diindikasikan melalui angka klorofil [11]. Konsentrasi klorofil tanaman dalam proses remediasi logam Pb dan Fe ditunjukkan pada Gambar 3. Perubahan lingkungan dapat menyebabkan stress dan menurunkan produktivitas bahkan kematian pada tanaman. Ketersediaan air merupakan salah satu stress abiotik yang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan suatu tanaman. Menurut penelitian yang dilakukan oleh [12] kekurangan air pada kelapa kerdil hijau *Brazilia (Cocos nucifera L. nana)* mengakibatkan penurunan konsentrasi klorofil daun tiap unit luas daun. Selain karena terhambatnya pembentukan klorofil berakibat terjadinya penurunan enzim rubisco dan terhambatnya penyerapan unsur hara.



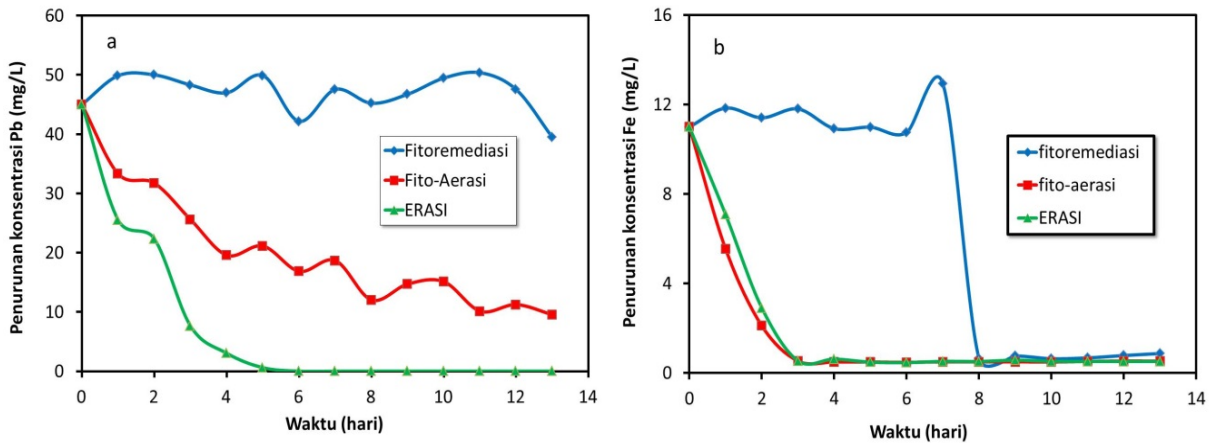
Gambar 3. Konsentrasi klorofil tanaman akar wangi pada proses ERASI, fito-aerasi dan fitoremediasi.

Klorofil daun dapat dipakai sebagai indikator untuk mengevaluasi ketidakseimbangan metabolisme dan fotosintesis karena klorofil menyerap cahaya yang akan digunakan dalam proses fotosintesis meskipun seluruh bagian dalam tumbuhan yang berwarna hijau mengandung kloroplas, namun sebagian besar energi dihasilkan di daun [11]. Pada tanaman didapatkan bermacam-macam pigmen yang berperan menyerap energi cahaya. Pada tanaman mempunyai dua macam klorofil yaitu klorofil a ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) yang berwarna hijau tua dan klorofil b ( $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ) yang berwarna hijau muda. Klorofil a dan klorofil b paling kuat menyerap cahaya di bagian merah (600- 700 nm), dan paling sedikit menyerap cahaya hijau (500-600 nm) [11]. Tanaman yang digunakan dalam proses ERASI memiliki tingkat stress yang paling rendah dengan angka klorofil total paling tinggi yaitu sebesar 16,91 mg/ml dan rasio klorofil a/b sebesar 2,49. Hal ini disebabkan karena tanaman yang digunakan pada proses ERASI mendapatkan bantuan arus DC yang membantu proses translokasi logam secara merata dari akar ke daun tanaman sehingga menimbulkan efek stress yang rendah

pada tanaman, selain itu penambahan oksigen juga membantu proses pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik.

**Penurunan konsentrasi logam berat pada air**

Proses evaluasi remediasi logam berat Pb dan Fe pada proses ERASI, fito-aerasi dan fitoremediasi dilakukan dengan pengambilan air limbah pada reaktor setiap 24 jam pada tiga titik sampling yaitu atas, tengah dan bawah reaktor. Penurunan konsentrasi logam Pb dan Fe pada proses ERASI, fito-aerasi dan fitoremediasi ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penurunan konsentrasi logam Pb (a) dan Fe (b) pada proses ERASI, fito-aerasi dan fitoremediasi.

Metode ERASI dengan menggunakan tanaman akar wangi memiliki kemampuan lebih besar dalam menyerap logam berat dibandingkan dengan metode fito-aerasi maupun fitoremediasi dengan persentase penurunan konsentrasi logam Pb dan Fe masing-masing sebesar 98,99% dan 95,27%. Hal ini disebabkan pada metode ERASI proses remediasi oleh tanaman dibantu dengan elektroda katoda berbentuk pot berjaring yang akan memaksimalkan elektromigrasi ion logam ke arah tanaman, sehingga penyerapan ion logam oleh akar tanaman lebih efektif. Proses elektromigrasi ion merupakan transportasi ion bermuatan positif dalam larutan dari elektroda anoda menuju elektroda katoda, sehingga ion logam  $Pb^{2+}$  dan  $Fe^{3+}$  akan berada di sekitar elektroda katoda [3]. Akumulasi polutan pada akar tanaman yang berlangsung cepat akan menimbulkan efek toksisitas yang lebih cepat pula sehingga menyebabkan tanaman lebih cepat mati. Penambahan oksigen melalui aerasi pada sistem ERASI ditujukan untuk menjaga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik dan mampu bertahan dalam waktu relatif lama. Proses ERASI berjalan dengan tegangan konstan DC rendah sebesar 2 V. Proses ini menyebabkan terjadinya elektrolisis air sehingga pada elektroda katoda terbentuk gas  $O_2$  dan ion  $OH^-$  sedangkan pada elektroda anoda terbentuk gas  $H_2$  dan ion  $H^+$  [13,14]. Keadaan yang sama tidak ditemukan pada metode fitoremediasi dan fito-aerasi sehingga proses penurunan konsentrasi logam berlangsung lebih lambat dan tidak sebesar pada metode ERASI. Pada proses fito-aerasi dan fitoremediasi penyerapan logam oleh tanaman hanya bergantung pada kemampuan alami akar tanaman.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa metode ERASI lebih efektif untuk menurunkan konsentrasi logam Pb dan Fe pada limbah cair dengan persentase masing-masing 98,99% dan 95,27%. Tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides* L) memiliki kemampuan dalam menyerap logam Pb dan Fe. Tanaman akar wangi pada metode ERASI mengalami tingkat *stress* yang lebih rendah bila dibandingkan dengan metode fito-aerasi dan fitoremediasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (KEMENRISTEKDIKTI) Republik Indonesia atas bantuan dana penelitian melalui PENELITIAN PRODUK TERAPAN, Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) tahun 2017 dan Direktorat Pengembangan Bakat/Minat dan Kesejahteraan Mahasiswa (DPBMKM) Universitas Islam Indonesia.

## REFERENSI

1. Feller, AK. 2000. *Phytoremediation of soils and waters contaminated with arsenicals from former chemical warfare installations*. Di dalam: Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ, Inyang HI, Stottmeister U (ed). *Bioremediation of Cotaminated Soils*. New York: Marcek Dekker Inc. p. 771-786.
2. Bi, R., Schlaak, M., Siefert E., Lord, R., Connolly, H., 2010. *Alternating current electric field effects on lettuce (Lactuca sativa) growing in hydroponic culture with and without cadmium contamination*, J. Appl. Electrochem., 40, p. 1217 – 1223.
3. Putra, R.S., Cahyana, F., Novarita, D., 2015. *Removal of lead and copper from contaminated water using EAPR system and uptake by water lettuce (Pistia Stratiotes L)*. *Procedia chemistry.*, 14, p. 381-386.
4. Putra, R.S., Ohkawa, Y., and Tanaka, S.2013. *Application of EAPR system on the removal lead from sandy soil and uptake by Kentucky bluegrass (Poa pratensis L.)*, *Separ. Pur. Tech.*, 102, p. 34-42.
5. Sugiharto. 2005. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Universitas Indonesia press, Jakarta, p. 187-190.
6. Purwani, J. 2010. *Remediasi Tanah Dengan Menggunakan Tanaman Akumulator Logam Berat Akar Wangi (Vetiveria zizanioides L.)*. Balai Penelitian Tanah. Bogor, p. 287-298
7. Truong, P. 2002. *Vetiver system: potential applications in latin america. australia:Technical Bulletin N0. 1998/1*. Pacific Rim Vetiver Network. Royal Development Projects Board.
8. Kubiak, J.J., Khankhane, P.J., Kleingel, P.J., Lima, A.T., 2002, *Attempt to electrically enhance phytoremediation of arsenic contaminated water*, *Chemosphere* 87: 259-264.
9. Primasari, B., Ibrahim, S., Suffian, M., Annuar, M., and Remmie, L.X.I 2011. *Aerobic treatment of oily waste water: effect of aeration and sludge concentration to pollutant reduction and PHB accumulation*. *Word Academy of Science, Engineering and Technology* 78, 2011, pp. 172-176.
10. Tsabitul, Fuad Muhammad Aunurohim, dan Tutik Nurhidayati. 2013. *Efektivitas Kombinasi Salvinia molesta dengan Hydrilla verticillata dalam Remediasi Logam Cu pada Limbah Elektroplating*. Surabaya: *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. Vol. 2, No.1 :2337-3520.
11. Ai, NS dan Yunia B. 2011. *Konsentrasi Klorofil Daun Sebagai Indikator Kekurangan Air Pada Tanaman*. Manado : *Jurnal Ilmiah Sains Vol. 1, No. 2*.
12. Gomes, F.B., M.A. Olivia, M.S. Nielke, A.F. de Almeida, H.G. Leite, L.A. Aquine. 2008. *Photosynthetic limitations in leaves of young Brazilian green dwarf coconut (Cocos nucifera L.) palm under well-watered conditions and recovering from drought stress*. *Environmental and experimental botany* 62: 195-204.
13. Kimura, T., Takase, K.L., and Tanaka, S.,2007, *Ferritization treatment of copper in soil by elektrokinetik remediation*, *J. Hazard. Mater.*, 143, pp.662-667.
14. Reddy, K.R., 1997, *Effect of soil composition on the removal of chromium by elektrokinetik*, *J. Hazard. Mater.*, pp. 135-158.