

Gabungan Proses EAPR-Aerasi (*Electro-Assisted Phytoremediation* Aerasi) dengan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) untuk Remediasi Air Limbah Logam Cu dan Zn

Rudy Syah Putra^{1,a)}, Nike Kusumawati^{1,b)}, Maiza Endang Trismiarni^{1,c)} dan Nurcholis Ma'arif^{1,d)}

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

^{a)}rudy.syahputra@uii.ac.id (corresponding author)

^{b)}14612216@students.uii.ac.id

^{c)}14612215@students.uii.ac.id

^{d)}14612236@students.uii.ac.id

*Telah dilakukan penelitian tentang kemampuan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) untuk menyerap logam Cu dan Zn pada media limbah logam berat dengan parameter kualitatif yaitu perubahan morfologi tanaman dan parameter kuantitatif yaitu penyerapan konsentrasi logam berat Cu dan Zn pada daun dan akar tanaman. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan hasil remediasi dari tiga proses yaitu EAPR-Aerasi (*Electro Assisted Phytoremediation-Aerasi*), fitoaerasi dan fitoremediasi dengan lama waktu pengamatan selama 7 hari untuk logam Cu dan 4 hari untuk logam Zn. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fitoaerasi dengan tanaman kiambang lebih maksimal dalam menyerap logam Cu dan Zn pada daun dan akar tanaman, dibandingkan dengan proses EAPR-Aerasi dan fitoremediasi. Hasil analisis konsentrasi klorofil tanaman yang terpapar oleh logam Cu pada proses fitoaerasi menunjukkan tanaman mengalami tingkat stress lebih rendah dibandingkan pada proses EAPR-Aerasi yang mengalami tingkat stress paling tinggi. Tanaman yang terpapar oleh logam Zn menunjukkan tingkat stress tanaman lebih rendah pada proses EAPR-Aerasi. Hasil penelitian ini menunjukkan proses EAPR-Aerasi mampu meningkatkan remediasi logam Zn sedangkan proses fitoaerasi mampu meningkatkan remediasi logam Cu.*

Kata kunci: Aerasi, EAPR, EAPR-Aerasi, Fitoremediasi, Kiambang

PENDAHULUAN

Pencemaran dan kerusakan lingkungan merupakan akibat dari berbagai aktivitas seperti industri, pertambangan, dan transportasi. Dalam aktivitas tersebut menghasilkan berbagai macam substansi kimia berbahaya, salah satu substansi tersebut adalah logam berat seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn). Logam berat memiliki sifat yang stabil dan sulit untuk diuraikan. Oleh sebab itu, diperlukan tindakan remediasi untuk membersihkan polutan di lingkungan.

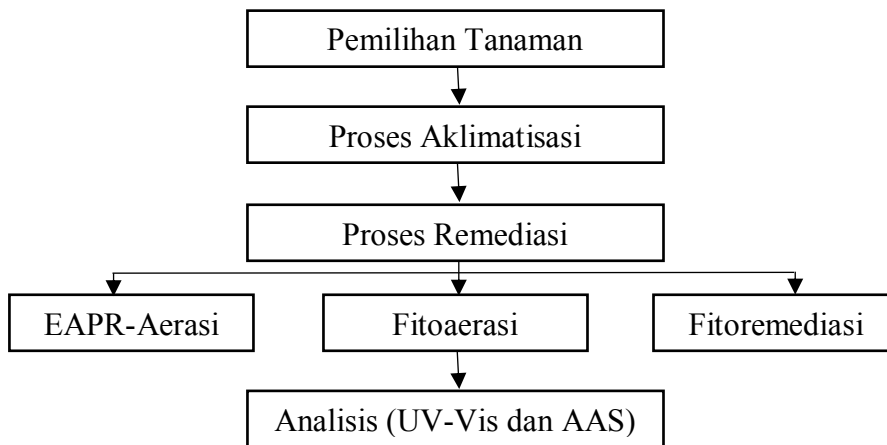
Fitoremediasi merupakan teknik remediasi air yang sering digunakan untuk mengurangi konsentrasi limbah dan masalah pencemaran lingkungan. Teknologi tersebut tidak memerlukan biaya yang tinggi serta memiliki kemampuan untuk remediasi logam berat seperti kadmium (Cd), seng (Zn), timbal (Pb), tembaga (Cu), 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. Dalam menanggulangi kelemahan pada fitoremediasi perlu adanya suatu metode yang dapat menjangkau daerah dasar limbah tanpa mengurangi esensi dari fitoremediasi. Oleh karena itu metode yang sesuai untuk mengatasi kekurangan fitoremediasi adalah *electro-assisted phytoremediation* (EAPR) dengan bantuan arus listrik [2-4]. Dalam sistem EAPR elemen yang paling berpengaruh adalah elektroda yang digunakan, elektroda katoda berfungsi untuk memobilisasi secara elektrokinetik ion logam yang terdapat dalam air yang kemudian membuat ion logam mengalami proses elektro-migrasi menuju akar tanaman yang selanjutnya diikuti dengan proses absorpsi oleh akar tanaman. Arus listrik pada proses metode EAPR berfungsi untuk meningkatkan transportasi zat-zat hara dan air yang dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman [2]. Sedangkan kelemahan proses EAPR adalah tanaman mengalami toksisitas secara cepat disebabkan oleh efek laju penyerapan polutan oleh tanaman yang berlangsung cepat sehingga akumulasi polutan ditanaman menjadi sangat tinggi dalam waktu yang singkat yang menyebabkan tanaman cepat mengalami kematian [3].

Untuk mengatasi masalah tersebut, pada penelitian ini akan dikembangkan proses aerasi yaitu penambahan oksigen dalam limbah cair melalui pompa udara yang dibantu dengan *diffuser* untuk 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 dievaluasi metode yang lebih efektif untuk menangani kontaminan logam berat Cu dan Zn dari limbah cair dengan metode EAPR-Aerasi (*Electro assisted phytoremediation*- Aerasi) menggunakan tanaman kiambang (*Salvinia molesta*).

Kiambang (*Salvinia molesta*) merupakan tanaman akumulator yang baik dalam meremediasi limbah organik maupun anorganik. Sifat pertumbuhannya yang cepat, mampu tumbuh pada perairan dengan kadar nutrisi yang rendah selain itu secara morfologi *Salvinia molesta* memiliki diameter daun yang relatif kecil (rata-rata 2-4 cm) tetapi memiliki bentuk akar yang panjang, berbulu halus dan tergenang ke dalam air. Berdasarkan hal tersebut, diharapkan *Salvinia molesta* dapat secara aktif menyerap polutan, namun tidak menghalangi penetrasi cahaya ke dalam perairan [6]. Menurut penelitian [7] telah membuktikan tanaman kiambang mampu menurunkan kandungan logam berat Zn sebesar 49%. Penelitian lain menyimpulkan bahwa efektivitas daya serap tanaman kiambang terhadap kandungan logam berat Cu dari limbah cair Laboratorium Kimia dalam waktu 12 hari sebesar 48,5% [8].

Gabungan metode EAPR yang dipadukan dengan metode aerasi menggunakan elektroda *stainless steel* sebagai katoda dan titanium sebagai anoda pada tegangan konstan 2 volt. Sedangkan pada proses aerasi menggunakan 4 batang *diffuser* yang terletak dibawah akar tanaman dengan laju alir 4 L/menit yang berperan sebagai penambahan oksigen dalam air dan membantu tanaman dalam memperoleh oksigen untuk meningkatkan penyerapan logam. Hasil penelitian [9] menunjukkan bahawa metode gabungan proses EAPR dan aerasi menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) mampu menurunkan konsentrasi logam Pb di dalam air limbah sebesar 87,3% dan logam Cu sebesar 77,2%. Sedangkan penelitian [10] menunjukkan bahawa proses gabungan EAPR dan aerasi menggunakan tanaman akar wangi (*Vetiveira zizaniodes L*) mampu menurunkan secara signifikan konsentrasi logam pada limbah cair sebesar 98,99% untuk logam Pb dan 95,27% untuk logam Fe.

METODE PENELITIAN

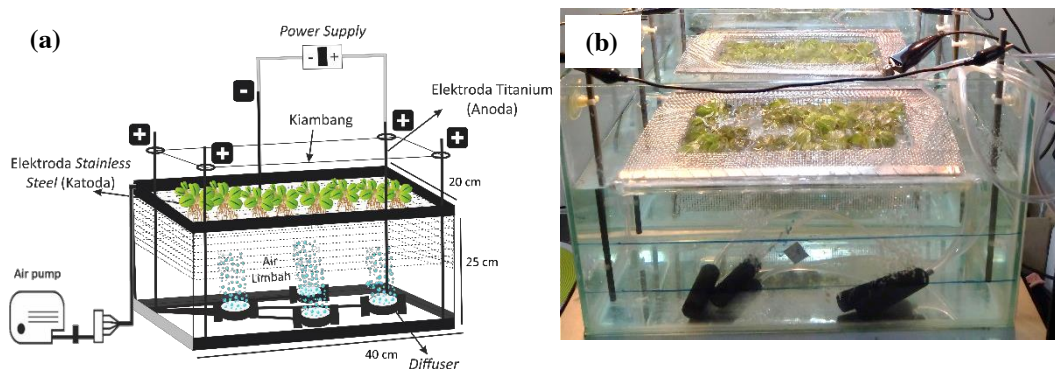


Pemilihan Tanaman dan Proses Aklimatisasi

Tanaman dipilih berdasarkan perkiraan umur yang sama melalui ciri morfologi tanaman seperti jumlah daun dan panjang akar. Tanaman kiambang dibersihkan terlebih dahulu dengan air untuk menghilangkan sisa pengotor di akar dan daun tanaman. Selanjutnya tanaman diaklimatisasi (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 0,0676 g KH_2PO_4 , 0,252 g KNO_3 , 0,59 g $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, 0,20 g $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ dalam 1 L aquades.

Proses Remediasi Logam Cu dan Zn

Larutan pencemar logam berat dibuat dengan konsentrasi logam Cu 20 mg/L dan Zn 50 mg/L yang dibuat dalam 11 liter larutan Hoagland. Tanaman kiambang yang telah diaklimatisasi, selanjutnya digunakan untuk proses remediasi dengan proses EAPR-Aerasi, fitoerasi dan fitoremediasi. Proses remediasi ini dilakukan selama 7 hari pada logam Cu dan 4 hari pada logam Zn dengan mengamati parameter perubahan morfologi tanaman. Setelah proses remediasi selesai, dilakukan analisis terhadap penyerapan konsentrasi logam berat pada akar dan daun tanaman dengan instrumen Spektroskopi Serapan Atom Nyala (PinAAcle 900T Perkin Elmer). 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 (Hitachi, U-2010, Japan) untuk menentukan tingkat *stress* pada tanaman. Gambar 1 menunjukkan desain reaktor EAPR-Aerasi. Laju alir udara yang diberikan pada metode fito-aerasi dan EAPR-Aerasi sebesar 4 L/menit dengan tegangan DC pada metode EAPR-Aerasi sebesar 2 V yang dihubungkan melalui elektroda katoda *stainless steel* dan anoda titanium.

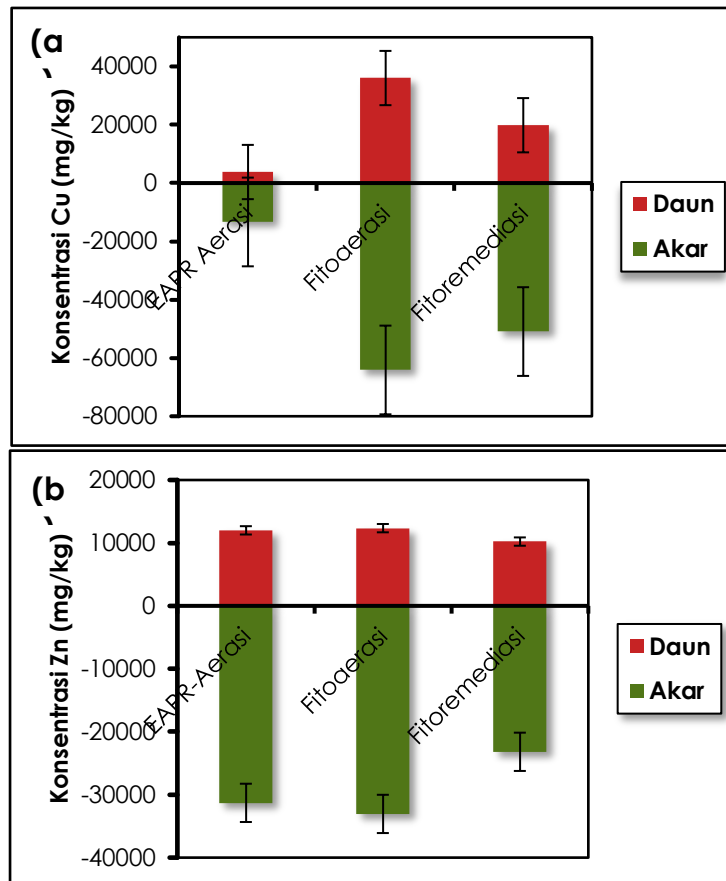


Gambar 1. Desain reaktor EAPR-Aerasi (a) dan Foto reaktor EAPR-Aerasi (b)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyerapan Konsentrasi Logam pada Daun dan Akar Tanaman

Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) tidak memiliki batang sejati, oleh karena itu pengukuran penyerapan logam yang terdapat pada tanaman kiambang dilakukan pada daun dan akar. Menurut Bi dkk., (2010) [2] penyerapan logam pada tanaman paling besar terdapat pada akar dibandingkan pada daun. Penyerapan logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu penyerapan oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut [10]. Penyerapan konsentrasi logam Cu dan Zn pada bagian tanaman kiambang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyerapan konsentrasi logam oleh tanaman Kiambang pada media logam Cu (a) dan logam Zn (b)

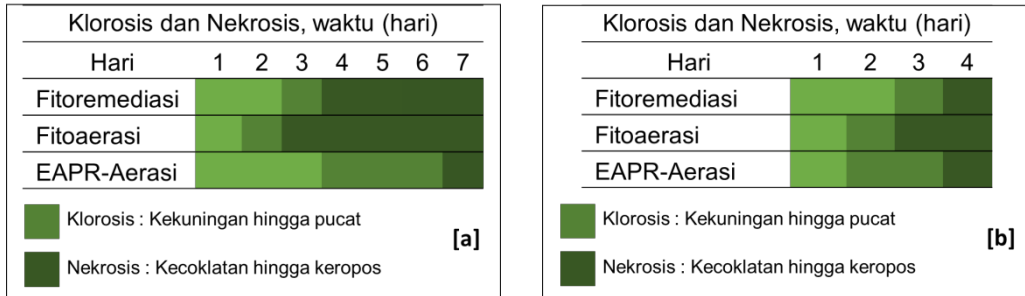
Gambar 2 menunjukkan penyerapan konsentrasi logam Cu dan Zn pada tanaman berbeda-beda, baik pada daun maupun akar tanaman kiambang. Penyerapan logam Cu dan Zn pada proses fitoerasi lebih besar dibandingkan dengan proses EAPR-Aerasi dan fitoremediasi. Tanaman pada proses fitoerasi dapat menyerap konsentrasi logam Cu dan Zn lebih besar karena sistem aerasi yang dibantu dengan alat penyebar udara dapat membantu tanaman memperoleh oksigen untuk respirasi dan kemampuan dalam penyerapan nutrisi oleh akar sehingga memudahkan akar dan daun untuk menyerap logam lebih maksimal. Selain itu, logam Cu dan Zn memiliki sifat konduktivitas, sehingga eletromigrasi logam menuju akar dapat terjadi lebih cepat.

Kondisi Stress Tanaman

Perubahan Morfologi Tanaman

Kondisi morfologi tanaman setelah digunakan sebagai akumulator proses EAPR-Aerasi, fitoerasi dan fitoremediasi mengalami beberapa perubahan morfologi. Perubahan morfologi yang nampak diantaranya

perubahan warna daun, perubahan ini terlihat dari awal penelitian sampai akhir penelitian. Sebelum digunakan untuk proses remediasi limbah logam berat Cu dan Zn, daun berwarna hijau segar, sedangkan setelah digunakan daunnya berubah menjadi kecoklatan hingga keropos. Perubahan morfologi pada daun tanaman akibat proses EAPR-Aerasi, fitoaerasi dan fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar 3.

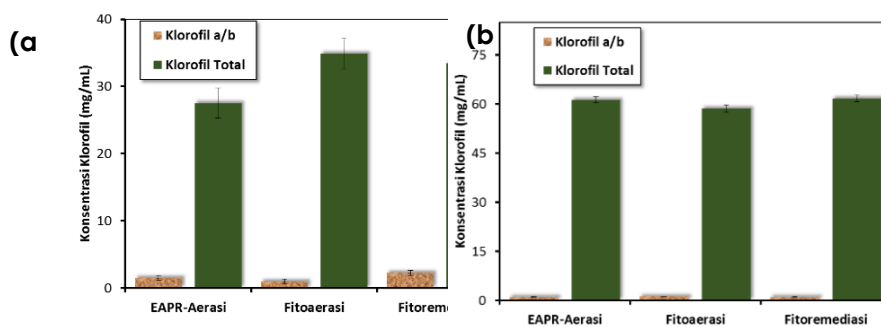


Gambar 3. Perubahan morfologi tanaman kiambang pada logam Cu (a) dan logam Zn (b)

Pada hari ke-4 dalam media logam Cu, tanaman kiambang pada proses EAPR-Aerasi menunjukkan gejala klorosis yang diduga tanaman mengalami toksisitas akibat cekaman abiotik (logam Cu). Kemudian terjadi nekrosis di akhir waktu remediasi yaitu daun menjadi keropos dan pada permukaan daun muncul beberapa bercak kehitaman. Sedangkan dalam media logam Zn, tanaman kiambang pada proses EAPR-Aerasi pada hari ke-2 sudah mengalami gejala klorosis dan di waktu akhir remediasi terjadi keadaan nekrosis dimana daun menjadi keropos. Waktu proses remediasi logam Zn berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan logam Cu disebabkan tingkat toksisitas logam Zn mempengaruhi metabolisme pertumbuhan tanaman kiambang dan 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 [6].

Konsentrasi Klorofil dan Tingkat Stress Tanaman

Kandungan klorofil akan berpengaruh langsung terhadap fotosintesis yang berdampak terhadap pertumbuhan tanaman pada penelitian. Terdapat hubungan antara konsentrasi logam berat terhadap perubahan kadar klorofil daun, yaitu kadar klorofil pada daun akan menurun diikuti dengan meningkatnya kandungan logam berat yang terdapat dalam lingkungan tersebut. Terjadinya perubahan kadar klorofil disebabkan karena meningkatnya konsentrasi logam Cu dan Zn yang berkaitan dengan kerusakan yang terjadi pada struktur kloroplas [11]. Konsentrasi klorofil tanaman dalam proses remediasi logam Cu dan Zn ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konsentrasi klorofil tanaman kiambang pada logam Cu (a) dan logam Zn (b)

Kekurangan air mempengaruhi semua aspek pertumbuhan tanaman, yang meliputi proses fisiologi, biokimia, anatomi dan morfologi. Pada saat kekurangan air, sebagian stomata daun menutup sehingga terjadi hambatan masuknya CO₂ dan menurunkan aktivitas fotosintesis [12]. Tanaman tingkat tinggi mempunyai dua macam klorofil yaitu klorofil a (C₅₅H₇₂O₅N₄Mg) yang berwarna hijau tua dan klorofil b (C₅₅H₇₀O₆N₄Mg) 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). Kandungan klorofil dapat dipakai sebagai indikator yang terpercaya untuk mengevaluasi ketidakseimbangan metabolisme antara fotosintesis dan hasil produksi pada saat kekurangan air [13].

Konsentrasi klorofil tanaman kiambang yang digunakan dalam proses remediasi pada logam Cu memiliki tingkat *stress* yang paling rendah dengan angka klorofil total paling tinggi yaitu sebesar 34,85 mg/L yang terlihat pada metode Fitoerasi dengan rasio klorofil a/b sebesar 0,99. Sedangkan pada logam Zn yaitu proses EAPR-Aerasi memiliki tingkat *stress* paling rendah dengan angka klorofil total paling tinggi yaitu sebesar 63,25 mg/L dan rasio klorofil a/b sebesar 1,04. Hal ini disebabkan karena tanaman yang digunakan pada proses EAPR-Aerasi 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 [14].

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa proses fitoerasi lebih efektif dalam penyerapan konsentrasi logam Cu pada daun dan akar tanaman sedangkan pada logam Zn yaitu proses EAPR-Aerasi. Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) memiliki kemampuan dalam menyerap logam Cu dan Zn. Tanaman kiambang mengalami tingkat stress lebih rendah yaitu pada proses fitoerasi dalam logam Cu dan proses EAPR-Aerasi dalam logam Zn.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (KEMENRISTEKDIKTI) Republik Indonesia atas bantuan dana penelitian melalui Penelitian Produk Unggulan Perguruan Tinggi (PPUPT) tahun 2017-2018 dan Direktorat Pengembangan Bakat/Minat dan Kesejahteraan Mahasiswa (DPBMKM) Universitas Islam Indonesia.

REFERENSI

1. Feller, A.K., *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, (2000)
2. Bi, R., Schlaak, M., Siefert E., Lord, R., Connolly, H., *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 (2010)
3. Putra, R.S., Ohkawa, Y., and Tanaka, S., *Application Of EAPR System On The Removal Lead From Sandy Soil And Uptake By Kentucky Bluegrass (*Poa Pratensis L.*)*, J. Separ.Pur.Tech **102**, 34-42 (2013)
4. Putra, R.S., Cahyana, F., Novarita, D., *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 (2015)
5. Sugiharto., *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*, Universitas Indonesia press, Jakarta, p., 187-190 (2005)
6. Widiarso, T., *Fitoremediasi Air Tercemar Nikel Menggunakan Kiambang (*Salvinia molesta*)*, Skripsi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2011)
7. Nurhidayah, Sofarini, D., Yunandar., *Fitoremediasi Tumbuhan Air Kiambang (*Salvinia molesta*) Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) dan Perupuk (*Phragmites karka*) Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Karet*, Indo, J., *Enviroscientiae* **10**, (1), 18-26 (2014)
8. Pappa, F.W., *Fitoremediasi Logam Berat (Cu, Cd, dan Ni) Dari Limbah Cair Laboratorium Kimia Oleh Kiambang (*Salvinia molesta D. S. Mitchel*)*, Skripsi, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga (2016)
9. Hidayah, A.R.M., *E-PHYRA (Electro Assisted Phytoremediation-Aeration) dengan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) Untuk Remediasi Air Limbah Logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu)*, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta (2017)
10. Putra, R.S., Setianingrum, I., Sintadani, E.D., Viani, V., Uuliyah, D., Faridani, M.F., *Metode ERASI (Electro Assisted Phytoremediation-Aeration) dengan Tanaman Akar Wangi (*Vetiveira zizaniodes L*) untuk Remediasi Air Limbah Logam Berat Pb dan Fe*, Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains (SNIPS), ISBN: 978-602-61045-2-6, ITB, Bandung (2017)

11. Gomes, F.B., M.A. Olivia., M.S. Nielke., A.F. de Almeida., H.G. Leite., L.A. Aquine., *Photosynthetic Limitations in Leaves of Young Brazilian Green Dwarf Coconut (Cocos Nucifera L.) Palm Under Wellwatered Conditions and Recovering from Drought Stress*, Environmental and experimental botany **62**, 195-204 (2008)
12. Olivares, E., *The Effect of Lead on The Phytochemistry of Tithonia Diversifolia Exposed to Roadside Automotive Pollution or Grown in Pots of Pb-Supplemented Soil*, Brazilian Journal Plant Physiology **15**, (3), 149-158 (2003)
13. Li, R., P., Guo, M., Baum, S., Grando, S., Ceccarelli., *Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley*, Agricultural Sciences in China **5**, (10), 751-757 (2006)
14. Andriyanti, I., *Remediasi Logam Timbal (Pb) dan Tembaga menggunakan Metode EAPR-Aerasi (Electro Assisted Phytoremediation-Aeration) dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia crassiper)*, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta (2018)