

Metode ERASI (Gabungan Process *Electro-Assisted Phytoremediation* dan Aerasi) dengan Tanaman Akar Wangi (*Vetiveira zizanioides* L) untuk Remediasi Air Limbah Logam Fe dan Cu

Iis Setianingrum¹, Ega Dwi Sintadani¹, Vivin Viani¹, Durrotul Uuliyah¹, M. Faiq Faridani², Rudy Syah Putra^{3*}

¹Prodi Kimia, ²Prodi Teknik Informatika dan ³Environmental Remediation Research Group, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km.14, Yogyakarta 55584

*Penulis korespondensi: rudy.syahputra@uii.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v5.n3.16058>

Abstrak: Kegiatan industri, pertanian, dan pertambangan semakin meningkat sehingga pencemaran logam berat pada air menjadi persoalan penting secara global yang membutuhkan perhatian khusus. Salah satu sumber pencemar perairan adalah logam berat karena memiliki sifat yang stabil dan sulit untuk didegradasi, sehingga perlu dilakukan tindakan remediasi. Salah satu metode remediasi yang dapat digunakan adalah gabungan proses EAPR (*electro-assisted phytoremediation*) dan aerasi dengan tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides* L) sebagai akumulator polutan yang selanjutnya disebut dengan metode ERASI. Metode ini merupakan proses fitoremediasi, dengan bantuan listrik arus searah yang dialirkan melalui elektroda untuk membantu mobilitas polutan bermuatan dari sumber limbah yang dalam mendekati ke arah akar tanaman serta dengan injeksi udara melalui proses aerasi untuk meningkatkan konsentrasi oksigen di dalam air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kemampuan tanaman akar wangi menyerap logam Fe dan Cu dalam jangka waktu lebih lama pada media limbah logam berat dengan parameter kualitatif dan kuantitatif yaitu pengamatan perubahan morfologi tanaman dan penurunan konsentrasi logam berat Fe dan Cu. Dalam penelitian ini dilakukan juga perbandingan tiga proses yaitu fitoremediasi, fitoremediasi-aerasi dan ERASI dengan lama waktu pengamatan selama 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan tanaman akar wangi yang lebih cepat menyerap logam berat Fe dan Cu adalah pada perlakuan ERASI yang ditandai dengan timbulnya gejala toksisitas tanaman yang lebih cepat seperti layu, kering hingga terbakar serta penurunan konsentrasi logam Fe dan Cu dalam air sebesar 85% dari konsentrasi semula dibandingkan dengan dengan proses aerasi (80%) dan fitoremediasi (26%). Hasil analisis konsentrasi klorofil tanaman pada proses ERASI menunjukkan tanaman mengalami tingkat stress lebih rendah dibandingkan dengan proses aerasi mengalami stress paling tinggi. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa metode ERASI merupakan proses yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat Fe dan Cu dari kedua metode lainnya.

Kata kunci: aerasi, akar wangi, EAPR, ERASI, fitoremediasi

Abstract: Industrial, agricultural and mining activities increased heavy metal pollution in the aquatic plume becomes an important issue globally requiring a special attention to overcome the problem. One of pollutants source in the aquatic is heavy metals because it is stable and difficult to remove, therefore it is necessary to perform remediation process. One of remediation method that can be used is combination of EAPR (*electro-assisted phytoremediation*) and aeration process with Vetiver grass (*Vetiveira zizanioides* L), as a pollutant accumulator species, which known as ERASI. In this method phytoremediation process with direct electric current flowing through the electrode material to assist the mobility of charged pollutants from a deep plume source to the direction of the plant roots. The air injection in the process is aimed to increase the oxygen concentration in the solution. The purpose of this study was to evaluate the ability of Vetiver grass to absorb Fe and Cu metal in a longer period of time on the heavy metal wastewater by observing the qualitative and quantitative parameters i.e observation of plant morphology changing and decreasing concentration of Fe and Cu. In this study, three processes, namely phytoremediation, phytoremediation-aeration and ERASI were monitored for 7 days process. The results showed that the plant which has high absorption of Fe and Cu was on the ERASI treatment showing a high toxicity symptom such as wilting, dry and burnt leave and decreasing of Fe and Cu concentration by 85% in the solution from the initial concentration which was higher compared to phytoremediation-aeration (80%) and phytoremediation (26%). Plant chlorophyll concentration in the ERASI process showed that the plants experienced low level of stress compared to phytoremediation-aeration. Generally, it can be concluded that the ERASI process is the most effective process in reducing heavy metal concentrations from the other two processes.

Keywords: aeration, EAPR, ERASI, phytoremediation, Vetiver grass

PENDAHULUAN

Aktivitas pembangunan sektor industri sekarang ini semakin meningkat setiap tahun. Keadaan ini berbanding lurus dengan peningkatan permasalahan terhadap kelestarian lingkungan. Dalam kegiatan industri tersebut menghasilkan berbagai macam unsur dan substansi kimia berbahaya, salah satu unsur dan substansi tersebut adalah logam berat. Logam berat merupakan zat pencemar karena sifatnya yang stabil dan sulit untuk diuraikan atau tidak dapat didegradasi. 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 logam seperti kadmium (Cd), seng (Zn), timbal (Pb), tembaga (Cu), kobalt (Co), selenium (Se), nikel (Ni), dan arsen (As) (Feller 2000). Fitoremediasi dapat menggunakan tanaman akumulator untuk mengurangi konsentrasi logam berat dalam air limbah maupun tanah. Namun, dalam metode fitoremediasi memiliki kelemahan yakni proses pertumbuhan biomassa yang lambat dan jangkauan akar tanaman yang rendah. Sehingga akumulasi polutan dibagian tanaman berlangsung lambat. Oleh sebab itu metode fitoremediasi diperbaiki melalui metode gabungan fitoremediasi, bantuan arus listrik (*electro-assisted*) yang selanjutnya metode ini dikenal dengan istilah *electro-assisted phytoremediation* (EAPR) yang telah dikembangkan oleh Bi *et al.* (2010), Putra *et al.* (2013), dan Putra *et al.* (2015). Pada sistem EAPR, tanaman ditumbuhkan secara hidroponik dan proses remediasi polutan dibantu dengan aliran listrik searah (arus DC) dan elektroda yang digunakan akan 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 media air berlangsung dalam waktu singkat. Metode ini masih memiliki kelemahan yaitu laju penyerapan polutan oleh tanaman berlangsung dengan cepat sehingga akumulasi polutan ditanaman menyebabkan efek toksisitas yang menyebabkan tanaman lebih cepat mati (Putra *et al.* 2013). Untuk mengatasi masalah tersebut, maka digunakan tambahan proses aerasi. Aerasi adalah proses menambahkan aliran oksigen ke dalam limbah cair sehingga terjadinya proses oksidasi yang dapat menurunkan nilai BOD dan COD, selain itu metode ini diharapkan dapat meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut di air sehingga mampu menjaga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik (Sugiharto 2005).

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 (Truong & Claridge 1996; Truong & Baker 1998; Truong 1999). Dalam penelitian ini digunakan metode gabungan dari EAPR-Aerasi (*electro-assisted phytoremediator-Aerasi*) yang dibandingkan dengan fitoremediasi dan aerasi untuk menangani kontaminan logam berat (Cu dan Fe) dari limbah dengan memanfaatkan tanaman akar wangi.

BAHAN DAN METODE

Alat

Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah 3 (tiga) set reaktor yaitu reaktor aerasi, fitoremediasi dan ERASI dengan dimensi 40 cm (P), 25 cm (L), 35 cm (T), DC Power Supply (30V; 5A; AND, Japan), elektroda anoda titanium (\varnothing 6 mm, panjang 25 cm, Nilaco, Japan) dan katoda stainless steel (netwire: 10 mesh, 30 cm (P), 20 cm (L); bar: tebal 3 mm, 30 cm (P), 1 cm (L), lampu fluorescence (20 watt, Osram Duluxstar PAR 38, China), 8 (delapan) buah difuser aerasi yang dihubungkan dengan pompa udara (Yasunaga, Japan, power 29 watt, max. air flow 32 L/menit), instrumentasi Atomic Absorption Spektrophotometer (AAS).

Bahan yang digunakan

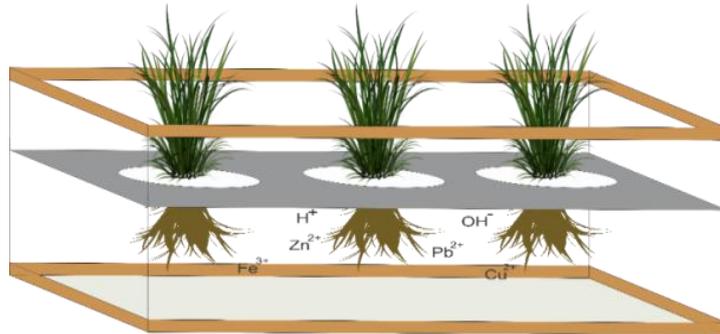
Bahan-bahan yang digunakan, yaitu bahan untuk larutan hoagland yang berfungsi sebagai larutan hidroponik untuk tanaman akar wangi larutan ini dibuat dari KH_2PO_4 ($\geq 90\%$, Merck), KNO_3 ($\geq 99\%$, Merck), $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99-102%, Merck), logam berat $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Merck) dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Merck).

Pemilihan sampel tanaman

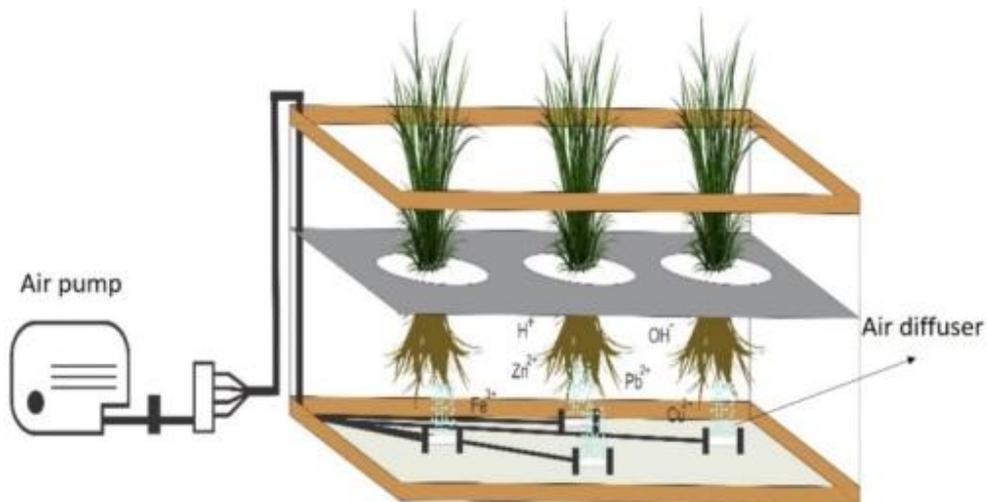
Tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides* L) yang digunakan dalam percobaan diambil dari salah satu pusat budidaya tanaman obat di daerah Merapi Kab. Sleman, Yogyakarta. Tanaman dipilih berdasarkan perkiraan umur yang sama yaitu 4 bulan, ciri morfologi seperti jumlah rumpun, tinggi tanaman, dan panjang akar.

Pembuatan Larutan Hoagland

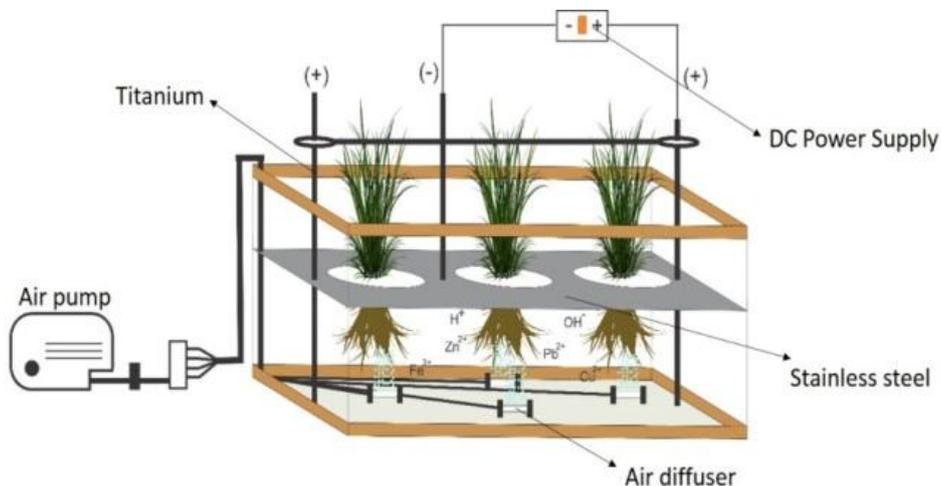
Larutan Hoagland merupakan larutan yang mengandung unsur-unsur esensial yang diperlukan oleh tanaman, larutan Hoagland berfungsi sebagai larutan penunjang. Untuk membuat 1 (satu) liter larutan Hoagland dicampurkan 0,00676 gram KH_2PO_4 , 0,252 gram KNO_3 , 0,59 gram $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,20 gram $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Putra *et al.* 2013).



Gambar 1. Model reaktor proses fitoremediasi



Gambar 2. Model reaktor proses aerasi



Gambar 3. Model reaktor metode EAPR-Aerasi (ERASI)

Pembuatan larutan logam pencemar

Pada penelitian ini larutan pencemar dibuat dengan logam Cu dan Fe dengan masing-masing konsentrasi 24 mg/L dan 12 mg/L. Larutan tersebut di buat dari 1,49985 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 1, 49985 gram $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ kemudian semua logam tersebut dilarutkan dalam 15 liter larutan Hoagland.

Proses aklimasi

Sebelum digunakan dalam proses fitoremediasi, aerasi, dan ERASI tanaman akar wangi yang bukan merupakan tanaman air asli, terlebih dahulu mengalami proses aklimasi yang bertujuan untuk proses adaptasi terhadap lingkungan percobaan. Awal proses aklimasi tanaman akar wangi dilakukan dengan cara dibersihkan terlebih dahulu

menggunakan air untuk menghilangkan sisa pengotor di akar dan daun tanaman. Aklimasi dilakukan dalam 2 tahap, yaitu:

1. Hidroponik tanaman akar wangi dengan menanamkan tanaman dalam air segar selama tiga hari tanpa pergantian air yang kemudian dilanjutkan dengan tahap kedua,
2. Hidroponik tanaman akar wangi dengan larutan Hoagland selama tiga hari.

Proses remediasi

Tanaman akar wangi diletakkan dalam reaktor fitoremediasi, aerasi dan ERASI dengan volume 15 liter larutan Hoagland yang telah mengandung logam pencemar Cu dan Fe secara berturut-turut sebanyak 24 mg/L dan 12 mg/L. Reaktor ERASI ini dilengkapi dengan elektroda anoda titanium dan katoda *stainless steel* U316 serta 4 (set) diffuser aerasi yang di letakkan dengan posisi horizontal pada dasar reaktor (Gambar 3). Proses fitoremediasi, aerasi dan ERASI dilakukan selama 7 hari dengan laju alir sebesar 10 L/menit dengan arus konstan sebesar 2 V dan siklus cahaya/gelap selama 12/12 jam. Selama ketiga proses berlangsung, dilakukan sampling air setiap hari dengan interval waktu setiap 24 jam untuk mengukur persentase penurunan konsentrasi logam berat pada limbah. Kondisi stress pada tanaman diamati melalui kondisi morfologi tanaman meliputi perubahan warna daun (klorosis dan nakosis). Data kualitatif klorofil daun direkam dengan menggunakan aplikasi mata daun (MRCPP, 2015). Aplikasi mata daun merupakan aplikasi yang sedang marak digunakan untuk mengukur angka klorofil dari daun suatu tanaman. Aplikasi ini memiliki prinsip yang sama dengan alat SPAD-502 chlorophyll meter (Konica Minolta, Japan) dan nitrogen meter Agriexpert CCN 6000 (Satake, Japan) yang digunakan oleh Limantara *et al.* (2015). Penggunaan aplikasi mata daun memanfaatkan bantuan kamera yaitu dengan mengambil gambar dari daun tanaman yang akan di ukur angka klorofilnya. Selain itu angka klorofil juga di analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis double beam. Model reaktor yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode ERASI dengan menggunakan tanaman akar wangi sebagai tanaman akumulator merupakan salah satu inovasi baru yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair. Limbah cair merupakan hasil buangan dari industri yang mana mengandung logam berat seperti tembaga (Cu) dan besi (Fe). Selain mengandung logam berat, limbah industri juga bersifat racun, sulit terdegradasi, dan dapat memasuki tubuh atau organ serta tinggal menetap didalam tubuh dalam jangka waktu yang lama. Hal ini menunjukkan bahwa limbah industri memberikan dampak tidak baik bagi lingkungan dan manusia (Juli 1997). Dampak akut dari logam berat tembaga adalah

pusing, mual, keram perut dan dampak kronis terjadinya kerusakan organ jaringan ginjal dan hati (Sekarwati dkk. 2015). Sedangkan logam berat besi dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai alergen, mutagen, atau karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan, dan pencernaan, masing-masing logam berat tersebut memiliki dampak negatif terhadap manusia jika dikonsumsi dalam jumlah yang besar dalam waktu yang lama (Ika dkk. 2012).

Profil Morfologi Tanaman Akar Wangi

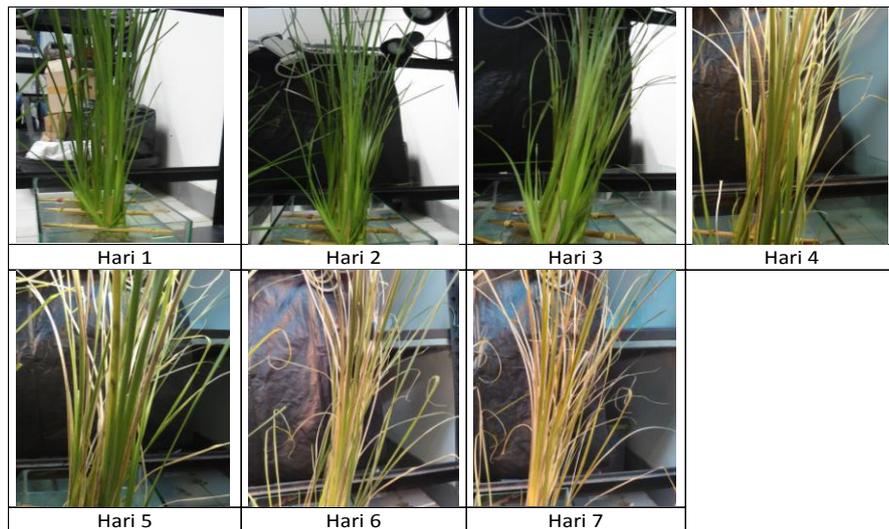
Selama proses penelitian, dilakukan pengamatan secara berkala terhadap perubahan morfologi daun dan akar tanaman. Pada awal percobaan tanaman akar wangi yang digunakan memiliki keadaan morfologi daun berwarna hijau, akar yang berserabut dengan jumlah yang banyak dan tanaman yang segar. Morfologi tanaman akar wangi mulai mengalami perubahan setelah digunakan untuk proses remediasi limbah logam berat Fe dan Cu yang meliputi perubahan warna pada daun dan keadaan daun yang mulai layu hingga terbakar yang dapat dilihat pada Gambar 4 – 6

Gambar 4 menunjukkan daun tanaman akar wangi yang digunakan dalam proses fitoremediasi pada hari ke-4 mulai mengalami perubahan warna menjadi kuning, selanjutnya daun mulai terbakar pada hari ke-6, sedangkan akar tanaman tidak mengalami kerontokan namun terjadi perubahan warna menjadi sedikit gelap.

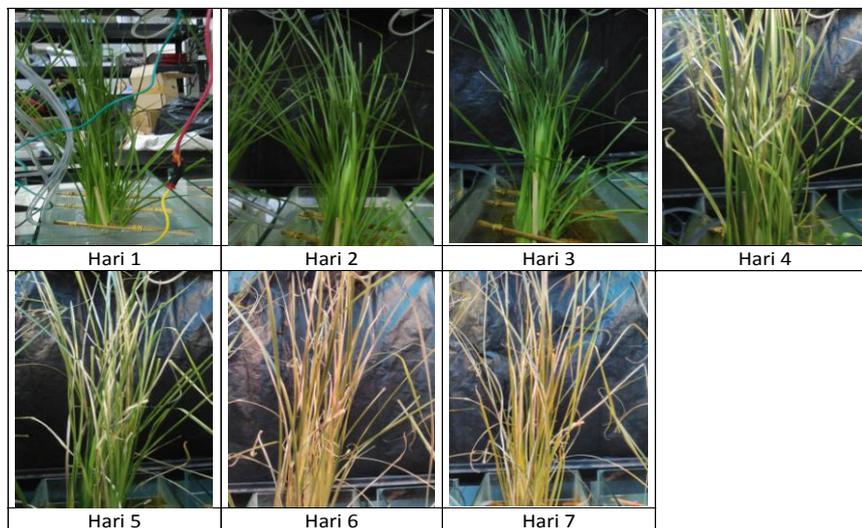
Gambar 5 menunjukkan daun tanaman akar wangi yang digunakan dalam proses aerasi pada hari ke-4 mulai mengalami perubahan warna menjadi kuning, selanjutnya daun mulai terbakar pada hari ke-6, sedangkan akar tanaman tidak mengalami kerontokan namun terjadi perubahan warna menjadi sedikit gelap.

Gambar 6 menunjukkan daun tanaman akar wangi yang digunakan dalam proses ERASI mengalami perubahan warna lebih cepat yaitu pada hari ke -3 dan mulai terbakar pada hari ke-5, sedangkan akar tanaman tidak mengalami kerontokan namun terjadi perubahan warna menjadi sedikit gelap.

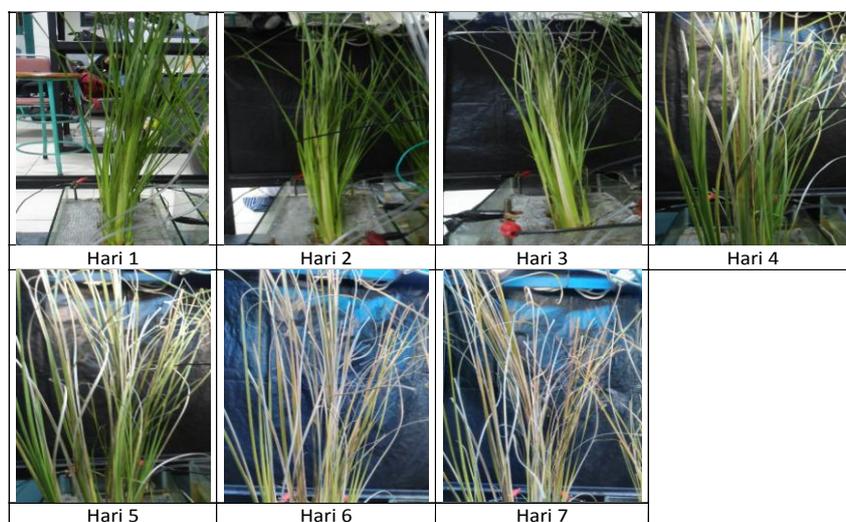
Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa tanaman yang lebih cepat menyerap logam berat pada limbah adalah tanaman yang berada pada reaktor ERASI, hal ini ditunjukkan dengan perubahan warna daun tanaman menjadi kuning, layu, dan terbakar secara signifikan. Perubahan warna daun yang terjadi lebih cepat pada proses ERASI disebabkan oleh pengaruh toksisitas tanaman akibat proses penyerapan penyerapan logam berat dibantu oleh kejutan arus listrik DC.



Gambar 4. Hasil perubahan morfologi tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides* L) dengan metode fitoremediasi



Gambar 5. Hasil perubahan morfologi tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides* L) dengan metode aerasi



Gambar 6. Hasil perubahan morfologi tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides* L) dengan metode ERASI

Profil Klorofil Tanaman Akar Wangi

Kandungan klorofil akan berpengaruh langsung terhadap fotosintesis yang berdampak terhadap pertumbuhan tanaman pada penelitian. Gomes *et al.* (2008) menjelaskan bahwa kekurangan air pada kelapa kerdil hijau Brazilia (*Cocos nucifera* L. nana) mengakibatkan penurunan konsentrasi klorofil daun tiap unit luas daun. Klorofil inilah yang menyerap cahaya yang akan digunakan dalam proses fotosintesis meskipun seluruh bagian dalam tumbuhan yang berwarna hijau mengandung kloroplas, namun sebagian besar energi dihasilkan didaun. Oleh karena itu klorofil daun dapat dipakai sebagai indikator untuk mengevaluasi ketidakseimbangan metabolisme dan fotosintesis. Angka klorofil yang diperoleh selama proses remediasi didapat dari aplikasi mata daun ditunjukkan pada Tabel 1.

Angka klorofil yang diperoleh dari daun tanaman akar wangi dengan metode ERASI lebih besar dibandingkan dengan metode aerasi dan fitoremediasi

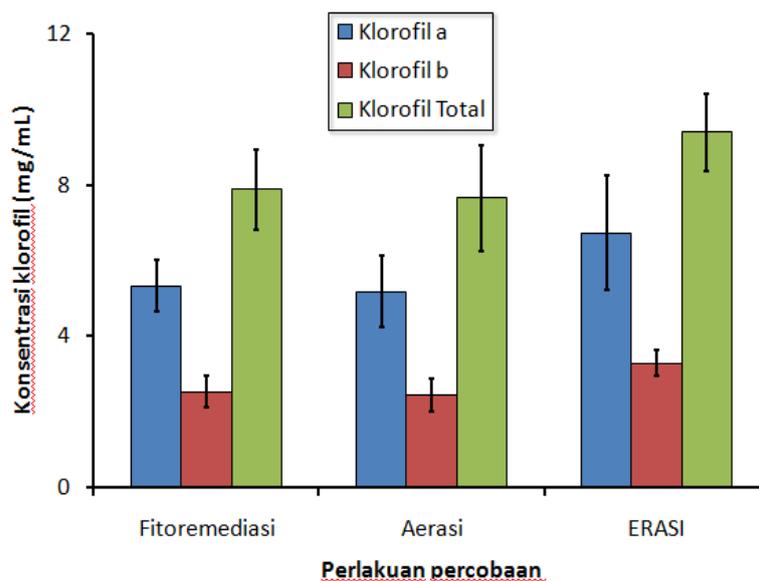
pada semua hari pengamatan. Hal ini dibuktikan dengan persentase angka klorofil yang diperoleh dari hasil perbandingan antara metode ERASI dengan metode aerasi dan fitoremediasi yaitu sebesar 5,1–7,8%.

Angka klorofil juga dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis double beam dimana hasil yang didapat menunjukkan hasil yang sama yaitu klorofil daun tanaman akar wangi yang digunakan dalam proses ERASI lebih besar dibandingkan dengan metode aerasi dan fitoremediasi. Hasil analisis angka klorofil menggunakan Spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 7.

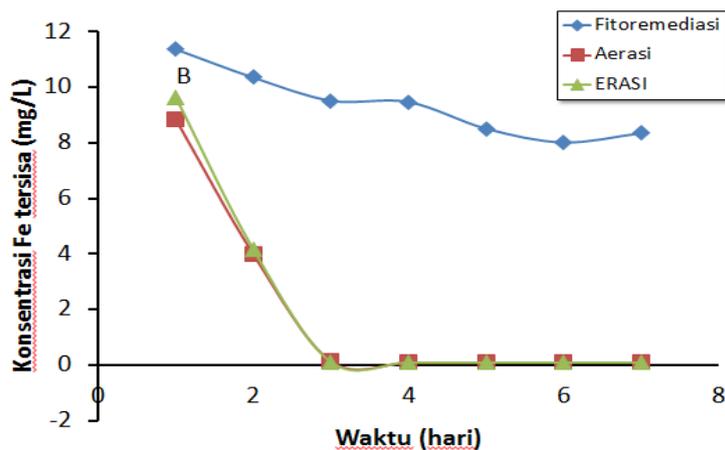
Angka klorofil merupakan parameter untuk tingkat stress pada tanaman atau dapat juga dijadikan sebagai indikator untuk mendeteksi atau menilai bagaimana pengaruh pertumbuhan tanaman terhadap lingkungan kontaminan (Putra *et al.* 2013). Sehingga dari angka klorofil yang didapat menunjukkan bahwa tanaman akar wangi yang berada pada reaktor ERASI tidak mengalami tingkat stress yang tinggi.

Tabel 1. Angka klorofil tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides* L) dengan aplikasi mata daun

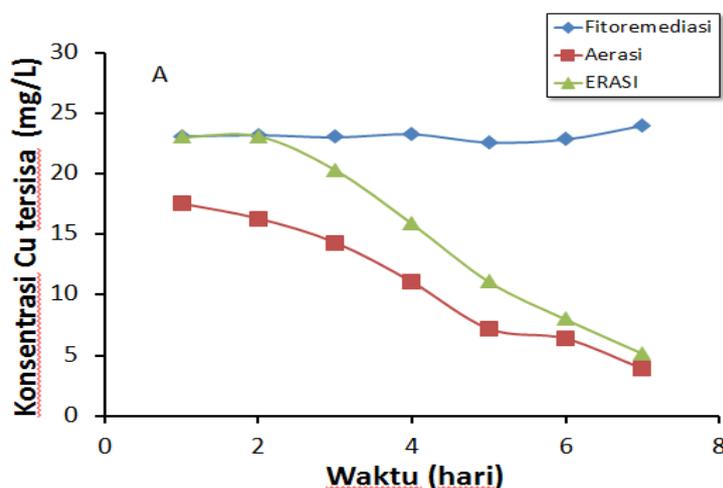
Metode	Angka Klorofil						
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7
Fitoremediasi	NA	NA	NA	37,3	39,3	35,0	37,0
Aerasi	NA	NA	NA	36,1	37,4	39,1	38,9
ERASI	NA	NA	NA	39,4	39,6	41,9	42,1



Gambar 7. Angka klorofil tanaman akar wangi (*Vetiveira zizanioides* L)



Gambar 8. Penurunan konsentrasi logam Fe pada fitoremediasi, aerasi dan ERASI.



Gambar 9. Penurunan konsentrasi logam Cu pada fitoremediasi, aerasi dan ERASI

Penurunan Konsentrasi Logam Cu dan Fe

Proses evaluasi remediasi logam berat Cu dan Fe pada metode fitoremediasi, aerasi dan ERASI dilakukan dengan pengambilan air limbah pada setiap titik reaktor yaitu lapisan atas, tengah dan bawah. Pengambilan air limbah ini dilakukan setiap 1×24 jam selama 7 hari dan diperoleh hasil dari proses penurunan konsentrasi logam Cu dan Fe seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Dari hasil pengukuran konsentrasi ion logam Cu dan Fe yang ada pada air limbah logam berat dalam metode fitoremediasi, aerasi dan ERASI didapat persen penurunan konsentrasi logam Fe dan Cu yang terjadi pada setiap metode masing-masing secara berturut-turut adalah sebesar 26% dan 25%, 80% dan 77%, 85% dan 79%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode ERASI merupakan metode yang memiliki kemampuan lebih besar dalam menyerap logam berat hal ini dikarenakan proses pada metode ERASI dilengkapi supply oksigen dan elektroda sehingga dapat membantu proses transportasi ion lebih cepat ke arah akar tanaman. Pada penelitian ini

elektroda yang digunakan *stainless steel* sebagai katoda dan titanium sebagai anoda. Sedangkan pada metode aerasi dilengkapi dengan supply oksigen untuk menambah jumlah oksigen terlarut di dalam air sehingga dapat membantu tanaman dalam menyerap logam berat cukup optimal, namun pada metode aerasi tanaman memiliki tingkat stress yang tinggi sehingga menyebabkan perubahan morfologi tanaman menjadi lebih cepat layu hingga terbakar. Keadaan ini sangat berbeda dengan metode fitoremediasi dimana pada metode ini tanaman akar wangi hanya mampu untuk menyerap logam berat pada limbah dalam jumlah yang sedikit karena pada proses fitoremediasi tidak terjadi proses migrasi ion logam namun hanya terjadi proses penyerapan yang dilakukan oleh tanaman akar wangi sehingga menyebabkan proses penyerapan logam berat pada limbah tidak terjadi secara maksimal.

KESIMPULAN

Pada pengolahan limbah yang mengandung logam berat Cu dan Fe menggunakan metode fitoremediasi, aerasi, dan ERASI dengan tanaman akar wangi dapat disimpulkan bahwa:

1. Tanaman akar wangi pada reaktor ERASI memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat ditandai dengan perubahan morfologi tanaman yang cepat layu, kering hingga terbakar
2. Tanaman akar wangi pada reaktor ERASI menunjukkan tanaman tidak mengalami tingkat stress yang tinggi hal ini didasarkan dengan angka klorofil yang diperoleh cukup tinggi.
3. Metode ERASI merupakan metode yang cukup efektif dalam proses remediasi logam berat (Fe dan Cu) dengan persen penyerapan secara berturut-turut 85% dan 79%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Mengucapkan terimakasih kepada KEMENRISTEKDIKTI atas bantuan biaya penelitian melalui program PKM-PE 2017 dan Direktorat Pengembangan, Bakat/Minat dan Kesejahteraan Mahasiswa (DPBMKM) Universitas Islam Indonesia atas bantuan biaya perjalanan seminar tahun 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Bi, R., Schlaak, M., Siefert, E., Lord, R. & Connolly, H. (2010). Alternating current Electrical Field Effects on Lettuce (*Lactuca sativa*) Growing in Hydroponic Culture With and Without Cadmium Contamination. *Journal of Applied Electrochemistry*: 40(6): 1217-1223.
- Feller, A.K. (2000). Phytoremediation of Soils and Waters Contaminated with Arsenicals from Former Chemical Warfare Installations. Dalam: Wise, D.L., Trantolo, D.J., Cichon, E.J., Inyang, H.I. & Stottmeister, U. (eds). *Bioremediation of Cotaminated Soils*. Marcel Dekker Inc. New York. p. 771-786.
- Gomes, F.P., Oliva, M.A., Mielke, M.S., de Almeida, A.A.F., Leite, H.G. & Aquino, L.A. (2008). Photosynthetic Limitations in Leaves of Young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') Palm Under Well-Watered Conditions or Recovering from Drought Stress. *Environmental and Experimental Botany*. 62(3): 195-204.
- Ika, I, Tahril, T. & Said, I. (2012). Analisis Logam Timbal (Pb) dan Besi (Fe) dalam Air Laut di Wilayah Pesisir Pelabuhan Ferry Taipa Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akademika Kimia*. 1(4): 181-186.
- Limantara, L., Dettling, M., Indrawati, R. & Brotosudarmo, T.H.P. (2015). Analysis on the chlorophyll content of commercial green leafy vegetables. *Procedia Chemistry*. 14: 225-231.
- 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: 381-386.
- Putra, R.S., Ohkawa, Y. & Tanaka, S. (2013). Application of EAPR System on the Removal of Lead from Sandy Soil and Uptake by Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Separation and Purification Technology*. 102: 34-42.
- Sekarwati, N., Murachman, B. & Sunarto, S. (2015). Dampak Logam Berat Cu (Tembaga) dan Ag (Perak) pada Limbah Cair Industri Perak Terhadap Kualitas Air Sumur dan Kesehatan Masyarakat serta Upaya Pengendaliannya di Kota Gede Yogyakarta. *Ekosains*. 7(1): 64-76.
- Sugiharto. (2005). *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Truong, P. 2002. Vetiver system: potential applications in Latin America. Australia: Technical Bulletin N0. 1998/1. Pacific Rim Vetiver Network. Royal Development Projects Board.