

Analisis Perbedaan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai Fitoremediasi Merkuri (Hg) pada Air

Maulida Khasanah*, Anita Dewi Moelyaningrum*, Rahayu Sri Pujiati*

*Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember, Jl. Kalimantan 6 No.15, Jember, Jawa Timur 68121
email : anitamoeayani@gmail.com

Abstract

Amalgamation in the activities of gold processing produces liquid waste containing heavy metals mercury (Hg). Pistia stratiotes is a floating plant that has high adaptability to climate, rapid growth rate, and huge nutrients and water absorption. So that, it is possible to be used as phytoremediation plant for absorbing Hg in water. The purpose of this true experiment research was to analyze the Hg concentration differences between waste water with and without Pistia stratiotes of 300 gr/ 6 l, 400 gr/ 6 l and 500 gr/ 6 weight in 10 days contact time. The data were analyzed by using One Way Anova test at $\alpha = 0,05$. The results showed significant differences of Hg levels between control and treatment groups ($p < 0,05$), and 500 gr/6 l Pistia stratiotes weight gave the highest reduction of Hg level in liquid waste, i.e. 77,6 %. It can be concluded that Pistia stratiotes can be used as phytoremediation plant for Hg metal. However, it is necessary to do further research by adding contact times as variable, so that the absorption rate at each time can be determined.

Keywords : phytoremediation, mercury (Hg), *Pistia stratiotes*

Intisari

Kegiatan pengolahan emas yang dilakukan secara amalgamasi menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat merkuri (Hg). Kayu Apu merupakan tanaman terapung yang memiliki daya adaptasi tinggi terhadap iklim, memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat, serta penyerapan unsur hara dan air yang besar sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai tanaman fitoremediasi untuk menyerap Hg. Tujuan penelitian true experiment ini adalah untuk menganalisis perbedaan kadar Hg antara limbah cair tanpa Kayu Apu dan limbah cair dengan penambahan Kayu Apu seberat 300 gr/ 6 l, 400 gr/ 6 l dan 500 gr/ 6 l, dengan waktu kontak 10 hari. Data dianalisis menggunakan uji One Way Anova dengan $\alpha = 0,05$. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan kadar Hg yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan ($p < 0,05$). Pemberian Kayu Apu seberat 500 gr/ 6 l menghasilkan penurunan kadar Hg yang tertinggi, yaitu sebesar 77,6 %. Dapat disimpulkan bahwa Kayu Apu dapat digunakan sebagai fitoremediasi untuk logam Hg. Namun demikian, perlu dilakukan penelitian lanjutan yaitu menambahkan waktu kontak sebagai variabel sehingga dapat diketahui tingkat penyerapan untuk masing-masing waktu.

Kata Kunci : fitoremediasi, merkuri (Hg), Kayu Apu

PENDAHULUAN

Polusi Hg masih banyak ditemukan di lingkungan, baik pada tanah di sekitar tempat pembuangan akhir sampah maupun di kolam lindi¹⁾. Logam berat dapat diserap oleh tanaman dan masuk ke tubuh organisme melalui pernafasan, pencernaan, dan kontak dengan kulit. Tingkat toksisitas logam berat pada hewan air maupun manusia yang memiliki efek racun paling tinggi adalah Merkuri.

Merkuri (Hg) menyebabkan pengaruh toksik karena terjadinya proses presipitasi protein yang menghambat aktivitas enzim, dan bertindak sebagai bahan

yang korosif²⁾. Pencemaran Hg, salah satunya dapat disebabkan oleh kegiatan pengolahan emas yang menggunakan merkuri untuk mengikat emas dengan teknik amalgamasi.

Pengolahan emas dengan teknik amalgamasi tersebut masih ditemukan di Desa X yang terletak di Kecamatan Y, Kabupaten Z, yang berada di Jawa Timur. Dari kegiatan pengolahan tersebut dihasilkan limbah cair yang mengandung merkuri yang dibuang ke dalam sebuah kubangan besar yang menyerupai kolam (bak ekualisasi) yang bersifat permanen, namun memungkinkan untuk meluap jika terkena air hujan, sehingga dapat me-

nyebabkan terjadi pencemaran tanah oleh Hg.

Oleh karena itu, terhadap kegiatan tersebut diperlukan pengolahan limbah, dimana salah satu metoda yang dapat diterapkan adalah fitoremediasi, karena mudah dilakukan dan tidak membutuhkan banyak biaya.

Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tanaman terapung yang terdistribusi secara luas di Indonesia³⁾. *P. stratiotes* mempunyai beberapa keunggulan, seperti tingkat pertumbuhan yang cepat, tingkat absorpsi atau penyerapan unsur hara dan air yang besar, mudah ditemukan serta memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap iklim⁴⁾.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Mamonto⁵⁾, menjelaskan bahwa *P. Stratiotes* sebanyak 300 gram/ 2 L mampu meremediasi 64 % sianida dari konsentrasi awal sebesar 5 mg/L selama 10 hari. Menurut Ugya⁶⁾, tanaman *P. Stratiotes* merupakan agen yang efektif untuk mengurangi dan menghilangkan berbagai logam berat seperti Hg, Cd, Mn, Ag, Pb, Zn di Sungai Romi, Nigeria. Berdasarkan studi-studi tersebut, dalam penelitian ini Kayu Apu dipergunakan sebagai tanaman fitoremediasi dalam menyerap logam berat Hg.

P. Stratiotes yang digunakan dalam penelitian ini diaklimatisasi terlebih dahulu dengan menggunakan air bersih selama tujuh hari sebelum kemudian digunakan sebagai tanaman fitoremediasi untuk logam berat Hg pada limbah cair hasil penambangan emas tanpa ijin. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perbedaan kadar Hg antara yang dihasilkan dari penambahan dan tanpa penambahan *P. Stratiotes* seberat 300 gr/6 L, 400 gr/6 L dan 500 gr/6 L dengan waktu kontak 10 hari.

METODA

Penelitian yang telah dilakukan adalah *true experiment* dengan bentuk *post test only control group design*⁷⁾. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni hingga Desember 2017. Tempat pengambilan limbah cair Hg dilakukan di Desa X yang

terletak di Kecamatan Y, Kabupaten Z, yang terletak di Jawa Timur; sementara tempat pengontakan limbah cair dengan *P. Stratiotes* dilakukan di Laboratorium Terpadu Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember; dan tempat pemeriksaan kadar Merkuri (Hg) adalah di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Surabaya.

Ada empat kelompok penelitian, yaitu satu kelompok kontrol (K), dan tiga kelompok perlakuan (X_1 , X_2 , X_3). Kelompok kontrol adalah limbah cair yang tidak diberi Kayu Apu; sementara kelompok perlakuan pertama (X_1) adalah limbah cair yang diberi penambahan Kayu Apu seberat 300 gr/6 l; kelompok perlakuan kedua (X_2) adalah limbah cair yang diberi penambahan Kayu Apu seberat 400 gr/6 l, dan kelompok perlakuan ketiga (X_3) adalah limbah cair yang diberi penambahan Kayu Apu dengan berat 500 gr/6 l.

Volume total limbah cair yang digunakan sebagai sampel adalah 144 liter. Teknik pengambilan limbah cair dari bak penampung limbah cair dilakukan secara random.

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi: jerigen berukuran 25 liter sebanyak enam buah, timbangan analitik, bak dengan diameter berukuran ± 55 cm sebanyak 24 buah, botol berukuran 500 ml sebanyak 24 buah, pipet ukur 5 ml, termometer air, gelas *beaker*, ph meter, spektrofotometri serapan atom (SSA), corong plastik, dan gayung plastik.

Bahan yang digunakan terdiri dari: *P. stratiotes* yang memiliki diameter daun rata-rata 4-5 cm, limbah cair penambangan emas tanpa ijin yang mengandung logam Hg, air bersih dan asam nitrat pekat (HNO_3) yang digunakan untuk mengawetkan sampel limbah cair yang akan diuji.

Data penelitian dianalisis menggunakan *One Way Anova*, karena setelah diuji dengan *Kolmogorov-Smirnov*, diketahui bahwa data memenuhi asumsi distribusi normal. Selanjutnya, untuk mengetahui perbedaan rata-rata penurunan kadar Hg pada setiap kelompok perlakuan, digunakan uji *post-hoc*.

HASIL

Perbedaan Kadar Hg antara Kelompok Kontrol (K) dengan Kelompok Perlakuan (X₁, X₂ dan X₃)

Pengukuran suhu dan pH pada penelitian ini, setiap hari dilakukan tiga kali, yaitu pada pukul 07.00, 12.00 dan 17.00. Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa suhu limbah cair sebelum perlakuan adalah 24 °C, sedangkan setelah perlakuan pemberian Kayu Apu dengan waktu kontak 10 hari, adalah 25 °C pada semua kelompok perlakuan. Rerata hasil pengukuran pH limbah cair sebelum perlakuan adalah 4,1; dan setelah mengalami perlakuan pemberian Kayu Apu dengan waktu kontak 10 hari, pH limbah cair pada masing-masing kelompok perlakuan mengalami peningkatan, yaitu pada kelompok kontrol sebesar 4,3; kelompok X₁ sebesar 5,3; kelompok X₂ sebesar 5,6; dan kelompok X₃ sebesar 5,9.

Tabel 1.
Rerata suhu dan pH

	K	X ₁	X ₂	X ₃
Rerata suhu (°C) setelah perlakuan 10 hari	25	25	25	25
Rerata pH setelah perlakuan 10 hari	4,3	5,3	5,6	5,9

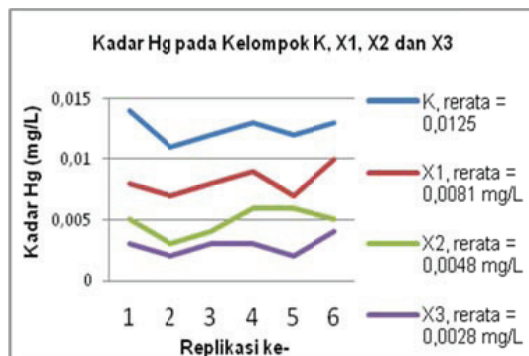
Berdasarkan hasil uji laboratorium, diketahui bahwa rerata kadar Hg pada kelompok tanpa penambahan Kayu Apu adalah sebesar 0,0125 mg/l. Adapun rerata kadar Hg pada kelompok perlakuan yang diberi penambahan Kayu Apu seberat 300 gr/6 l, 400 gr/6 l dan 500 gr/6 l, berturut-turut adalah sebesar 0,0081 mg/l; 0,0048 mg/l, dan 0,0028 mg/l. Data lebih lengkap dari hasil uji laboratorium tersebut, dapat dilihat pada Grafik 1.

Melalui grafik itu dapat diketahui bahwa *P. stratiotes* mampu membantu menurunkan kadar Hg pada air limbah. Hal ini terbukti dengan perbedaan penurunan kadar Hg pada kelompok perlakuan yang diberi penambahan Kayu Apu jika dibandingkan dengan kadar Hg pada kelompok kontrol. Penurunan kadar Hg pada setiap kelompok perlakuan terse-

but berbeda-beda sesuai variasi berat *P. stratiotes* yang diberikan.

Penurunan kadar Hg tertinggi terjadi pada kelompok X₃ yaitu sebesar 77,6 %; sedangkan penurunan kadar Hg yang terendah terjadi pada kelompok X₁ yaitu sebesar 35,2 %. Data presentase penurunan kadar Hg yang lebih lengkap, dapat dilihat pada Tabel 2.

Grafik 1.
Kadar Hg pada kelompok K, X₁, X₂ dan X₃



Tabel 2.
Persentase penurunan kadar Hg

Kelompok perlakuan	% Penurunan kadar Hg
K	-
X ₁	35,2
X ₂	61,6
X ₃	77,6

Analisis data dengan menggunakan *one way anova* menghasilkan nilai p lebih kecil dari 0,05; sehingga secara statistik dapat diartikan bahwa terdapat perbedaan penurunan kadar Hg pada kelompok K, X₁, X₂, dan X₃. Selanjutnya, hasil uji *post hoc* sebagaimana yang ditunjukkan oleh Tabel 3 dapat memperkuat hal tersebut, yaitu bahwa penurunan kadar Hg pada kelompok K secara signifikan berbeda dengan kelompok X₁, kelompok X₂, dan kelompok X₃. Kelompok X₁ secara signifikan berbeda dengan kelompok K, kelompok X₂, dan kelompok X₃. Kelompok X₂ secara signifikan berbeda dengan kelompok K, kelompok X₁ dan kelompok X₃. Kelompok X₃ secara signifikan berbeda dengan kelompok K, kelompok X₁ dan kelompok X₂.

Tabel 1.
Hasil uji *post hoc*

Kelompok perlakuan	K	X ₁	X ₂	X ₃
K	-	0,000*	0,000*	0,000*
X ₁	-	-	0,000*	0,000*
X ₂	-	-	-	0,017*
X ₃	-	-	-	-

Keterangan: (*) menunjukkan signifikansi pada $p \leq \alpha$

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran suhu limbah cair dengan menggunakan alat termometer dan pengukuran pH dengan menggunakan pH meter, diketahui bahwa sebelum perlakuan limbah cair memiliki suhu 24 °C dan pH 4,1 pada seluruh 24 bak perlakuan, sehingga faktor suhu dan pH pada kelompok kontrol dan kelompok perlakuan adalah sama.

Kayu Apu memberi kontribusi dalam menaikkan pH disebabkan oleh adanya aktivitas fotosintesis pada tanaman uji tersebut. Proses fotosintesis merubah CO₂ menjadi C₆H₁₂O₆ yang memerlukan hidrogen dan energi. Hidrogen diperoleh dari H⁺ yang didapat dari air limbah dan udara, sehingga pengambilan H⁺ akan menaikkan pH⁸⁾.

Berdasarkan hasil pengukuran kadar Hg dengan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), diketahui bahwa pada kelompok pemberian Kayu Apu perlakuan pertama (300 gr/6 l atau X₁), kelompok perlakuan kedua (400 gr/6 l atau X₂), dan kelompok perlakuan ketiga (500 gr/ 6 l atau X₃), berturut-turut adalah sebesar: 0,0081 mg/l; 0,0048 mg/l; dan 0,0028 mg/l.

Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa *P. stratiotes* seberat 400 gr/6 l, dan 500 gr/6 l mampu menurunkan kadar Hg hingga memenuhi baku mutu lingkungan (BML) yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 202 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan atau Tembaga, yaitu 0,005 mg/l.

Perbedaan penurunan kadar Hg yang terjadi antar kelompok mengindi-

kasikan bahwa Kayu Apu dapat menurunkan kadar Hg pada air. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa semakin banyak Kayu Apu yang diberikan pada air limbah, akan menyebabkan kadar Hg semakin turun. Kelompok perlakuan yang paling efektif dalam menurunkan kadar Hg limbah cair adalah kelompok X₃ dengan presentase penurunan sebesar 77,6 %.

Dengan semakin lama waktu kontak dan semakin banyaknya tanaman yang digunakan, maka semakin besar pula konsentrasi yang diserapnya⁹⁾. Semakin lama waktu kontak Kayu Apu dengan limbah cair, maka semakin berkurang kadar logam berat pada limbah cair¹⁰⁾. Dengan waktu kontak 10 hari, *P. stratiotes* dapat menurunkan kadar Hg pada air limbah. Waktu kontak memberikan pengaruh yang nyata terhadap penyerapan logam berat. Semakin lama waktu kontak tumbuhan dengan limbah, maka akumulasi logam berat di dalam tubuh tumbuhan juga semakin tinggi¹¹⁾.

Kayu Apu di suatu perairan akan menyerap secara langsung logam berat melalui bagian akarnya¹²⁾. Ada tiga proses penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan, antara lain yaitu penyerapan oleh akar, translokasi dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar logam berat tersebut tidak menghambat metabolisme tumbuhan.

Kayu Apu menyerap logam berat yang terlarut di dalam air dengan akar-akarnya yang mengandung fitokelatin atau senyawa pengk^{helat} logam. Selanjutnya, logam Hg yang larut dalam limbah cair menembus selaput sel yang berada di akar dan disimpan dalam vakuola, lalu kemudian bergerak melintasi selaput sel dan menuju daun¹²⁾.

Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri atas beberapa konsep dasar, yaitu fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, dan fitovolatilisasi. Fitoekstraksi merupakan penyerapan logam berat oleh akar tanaman dan mengakumulasinya ke bagian-bagian tanaman (akar, batang dan daun). Tanaman seperti itu disebut tanaman hiperakumulator.

Setelah polutan terakumulasi, tanaman bisa dipanen namun tidak boleh dikonsumsi. Tanaman tersebut harus dimusnahkan dengan insinerator untuk kemudian *dilandfilling*.

Rhizofiltrasi merupakan pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan, mengakumulasi logam berat dari aliran limbah. Fitodegradasi adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme di dalam tanaman yang melibatkan beberapa enzim antara lain nitroductase, dehalogenase dan nitrilase.

Adapun fitostabilisasi, merupakan proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tubuh tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada didalam tanah.

Sementara itu, fitovolatilisasi terjadi ketika tanaman menyerap polutan atau logam berat dan melepaskannya ke udara lewat daun dan ada kalanya logam berat mengalami degradasi terlebih dahulu sebelum dilepas lewat daun. Polutan yang dilepaskan oleh tanaman ke udara bisa sama seperti bentuk senyawa awal polutan, bisa juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal¹³⁾.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Mardikaningtyas¹⁴⁾ menunjukkan bahwa akumulasi logam berat lebih banyak terdapat pada akar daripada di daun, perbedaan akumulasi ini dapat mengindikasikan bahwa organ akar tanaman *P. stratiotes* lebih efektif dalam menyerap logam berat dan menunjukkan bahwa tanaman ini melakukan rhizofiltration yakni penyerapan, pengkonsentrasian dan pengendapan kontaminan dari sumber air tercemar di akar tanaman.

Akumulasi yang lebih besar terdapat di akar karena organ tersebut yang mendominasi tanaman *P. stratiotes* dan merupakan organ yang pertama kali berinteraksi dengan medium. Namun demikian, tidak menutup kemungkinan logam berat akan ditransportasikan ke organ lain seperti daun¹⁴⁾.

Pengamatan perubahan fisik dilakukan peneliti untuk mengetahui kondisi kesehatan tumbuhan. Perubahan fisik merupakan respon tumbuhan terhadap logam berat yang menunjukkan kemampuan adaptasi tumbuhan menghadapi kontak langsung logam berat.

Perubahan fisik tumbuhan pada lima hari pertama tidak banyak terjadi, hanya terlihat perubahan warna pada beberapa ujung daun. Perubahan yang cukup signifikan terjadi pada hari ke delapan hingga hari ke 10. Perubahan morfologi dari tanaman fitoremediator disebabkan karena tanaman tersebut telah aktif menyerap logam berat yang ada di lingkungan dan berusaha untuk beradaptasi agar tetap hidup¹⁴⁾.

Kayu Apu mengalami perubahan yang ditandai dengan kondisi daun yang mulai berwarna kekuningan dan akhirnya sebagian mati. Akar tanaman Kayu Apu juga mengalami kerontokan. Morfologi akar tanaman Kayu Apu yang ditumbuhkan pada medium limbah, mempunyai tekstur yang lunak dan rambut akar sebagian besar terputus karena bagian organ tanaman yang langsung berinteraksi dengan limbah adalah bagian akar. Penyerapan logam berat oleh tanaman dilakukan pertama kali oleh akar¹⁴⁾.

Kontak langsung tumbuhan dengan logam berat akan mengakibatkan kerusakan dan perubahan warna pada daun yang mengindikasikan penurunan tingkat klorofil pada tumbuhan¹⁵⁾.

KESIMPULAN

Rerata kadar Hg kelompok kontrol, serta X_1 , X_2 dan X_3 , secara berturut-turut adalah: 0,0125 mg/l; 0,0081 mg/l; 0,0048 mg/l; 0,0028 mg/l. Penurunan kadar Hg pada kelompok perlakuan yang diberikan Kayu Apu seberat 300 gr/6 l (X_1), 400 gr/6 l (X_2), dan 500 gr/6 l (X_3), berturut-turut adalah 35,2 %; 61,6 % dan 77,6 %. Kadar Hg pada kelompok X_2 dan X_3 sudah memenuhi BML yaitu lebih kecil dari 0,005 mg/l. Terdapat perbedaan penurunan kadar Hg yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan ($p < 0,05$).

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lanjutan menambahkan variasi waktu kontak sebagai variabel yang diamati, sehingga dapat diketahui tingkat penyerapan pada masing-masing waktu, serta dapat diaplikasikan pada industri yang kegiatannya menghasilkan limbah cair yang mengandung Hg.

DAFTAR PUSTAKA

1. Moelyaningrum, A. D., Pujiati, R. S., 2015. Cadmium (Cd) and Mercury (Hg) in the soil, leachate and ground water at the final waste disposal Pakusari Jember Distric Area. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJS-BAR)*, 24 (2):101-108.
2. Widowati, W., Sastiono, A., Jusuf, R., 2008. *Efek Toksik Logam*, CV Andi Offset, Yogyakarta.
3. Soerjani, M., Kostermans, A. J. H. G., Tjitrosoepomo, G. 1986. *Weeds of Rice In Indonesia*, Balai Pustaka, Jakarta (Indonesia), 716 p.
4. Fachrurozi, M., Utami, L. B., Suryani, D., 2010. Pengaruh variasi biomassa *Pistia stratiotes L.* terhadap penurunan kadar BOD, COD, Dan TSS limbah cair tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4 (1): 1-16.
5. Mamonto, H. 2013. Uji Potensi Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*) dalam Penurunan Kadar Sianida (CN) pada Limbah Cair Penambangan Emas, Skripsi, Fakultas Ilmu Kesehatan dan Keolahragaan Universitas Negeri Gorontalo.
6. Ugya, A. Y., Imam, T. S., Tahir, S. M., 2015. The use of *P. stratiotes* to remove some heavy metals from romi stream: a case study of Kaduna Refinery and petrochemical company polluted stream, *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 9 (1): 48-51.
7. Sugiyono, 2015. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D, Alfabeta, Bandung.
8. Gregory, P., 2006. *Plant Roots, Growth, Activity and Interaction with Soils*, Blackwell Publishing, Australia
9. Rahmatullah, L., 2008. Penggunaan Tanaman Kiapu (*Pistia stratiotes*) sebagai Pengolahan Pendahuluan untuk Air Permukaan dengan Parameter Warna dan TDS, Skripsi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
10. Joko, T., Dangiran, H. L., Dewanti, N. A. Y., 2015. The Effectiveness of plant *Pistia stratiotes* weight to reduction of heavy metal content Chromium (Cr) waste at batik home industry in Regency of Pekalongan, *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJS-BAR)*, 24 (2):45-54.
11. Paramitasari, A., 2014. Kemampuan Tumbuhan Air Kiapu *Pistia stratiotes* dan Kiambang *Salvinia molesta* dalam Fitoremediasi Timbal, Skripsi, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
12. Priyanto, B. dan Prayitno, J., 2008. Fitoremediasi sebagai sebuah teknologi pemulihan pencemaran khusus logam berat, *Jurnal Informasi Fitoremediasi*.
13. Tsao, D. T., 2003. *Phytoremediation: Advance in Biochemical Engineering Biotechnology*, Springer, Berlin Heidelberg.
14. Mardikaningtyas, D. A., Ibrohim, Suarsini. 2016. Efektifitas tanaman *Pistia stratiotes* dalam menyerap logam berat Kadmium (Cd) yang terkandung dalam limbah cair pengolahan tepung agar ditinjau dari akumulasi logam di organ akar dan daun, *Prosiding Seminar Nasional II*, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
15. Tangahu, B. V., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M., 2011. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) up-take by plants through phytoremediation, *International Journal of Chemical Engineering*.