

Fitoremediasi Menggunakan Beda Jumlah Individu Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) pada Limbah Pabrik Daur Ulang Kertas

Phytoremediation Using Different Numbers of Individual Kayu Apu Plant (*Pistia stratiotes*) in Reducing Lead (Pb) Levels in Paper Recycling Factory Waste

Nurlaili Rahmawati^{1*)}, Ratna Djuniwati Lisminingsih^{2**)}, Hamdani Dwi Prasetyo^{3***)}
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Malang
Faculty of Mathematics and Natural Science University of Islam Malang

ABSTRAK

Limbah pabrik daur ulang kertas mengandung bahan anorganik salah satunya adalah logam berat timbal. Logam berat timbal bersifat *non-essential* dan *non-degradable* yang berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup. Penurunan kadar timbal dengan menggunakan tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan mengetahui jumlah tanaman Kayu Apu yang efektif dalam menurunkan kadar timbal, suhu dan pH limbah optimum sesuai standar baku mutu, peningkatan berat basah tanaman, dan keadaan morfologi tanaman selama proses remediasi. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan rancangan acak lengkap. Perlakuan berupa jumlah tanaman Kayu Apu A: kontrol, B: 2 Individu, C: 5 Individu, dan D: 9 Individu dengan 3 kali ulangan. Dilakukan aklimatisasi tanaman Kayu Apu, pengukuran parameter fisika, kimia, dan biologi, kemudian data dianalisis menggunakan ANOVA satu arah untuk uji kadar timbal dan *paired sample t-test* untuk uji berat basah tanaman. Hasil penelitian menunjukkan kadar timbal dari perlakuan 9 individu menurun sedangkan pada kontrol, 2 individu dan 5 individu meningkat. Rata-rata suhu limbah dan pH limbah masih optimum dan sesuai standar baku mutu. Rata-rata berat basah tanaman meningkat pada perlakuan B dan C, sedangkan perlakuan D menurun. Jumlah tanaman Kayu Apu yang efektif dalam menurunkan timbal adalah perlakuan dengan menggunakan 9 individu. Rata-rata suhu dan pH limbah optimum dan sesuai standar baku mutu. Berat basah tanaman meningkat pada perlakuan B dan C sedangkan D menurun. Keadaan morfologi daun Kayu Apu pada semua perlakuan menguning, mengering dan rontok tetapi kuncupnya tumbuh.

Kata Kunci : Kayu Apu (*Pistia stratiotes*), Limbah Pabrik Kertas, Timbal (Pb)

ABSTRACT

*Recycled paper mill waste contains inorganic materials, one of heavy metal lead. Metal lead is non-essential and non-degradable that harmful to living things. Reduce lead levels by using Kayu Apu plants (*Pistia stratiotes*) is needed. The aims, to determine number of Kayu Apu plants that effective in reducing lead levels, temperature and pH of optimum waste according to quality standards, increase in plant's wet weight, and morphological condition of plants. Method is experiment with completely randomized design. Treatment consisted of number of Kayu Apu plants A: control, B: 2 individuals, C: 5 individuals, and D: 9 individuals with 3 replications. Acclimatization of Kayu Apu plant was carried out, measuring physical, chemical and biological parameters, then data were analyzed using one-way ANOVA and paired sample t-test. Results showed that lead levels of treatment using 9 individuals decreased while in control, 2 individuals and 5 individuals increased. Average temperature and pH of waste are still optimum according to quality standards. Average fresh weight of plants increased in treatments B and C, while treatment D decreased. Number of Kayu Apu plants that effective*

*) Nurlaili Rahmawati, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang, E-mail: nurlailirahmawati222@gmail.com

**) Ratna Djuniwati Lisminingsih Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang, E-mail: ratna.djuniwati@unisma.ac.id

***) Hamdani Dwi Prasetyo Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang, E-mail: hamdani.dwiprasetyo@unisma.ac.id

in reducing lead was treatment using 9 individuals. Average temperature and pH of waste were optimum according to quality standards. Wet weight of plants increased in treatments B and C while D decreased. Morphology of Kayu Apu leaves in all treatments turned yellow, dried and fall off but the buds grow.

Keywords: Kayu Apu (*Pistia stratiotes*), Lead (Pb), Paper Mill Waste

Pendahuluan

Limbah pabrik kertas daur ulang merupakan hasil buangan dari proses produksi pembuatan kertas yang tidak digunakan lagi. Limbah ini, akan menghasilkan logam berat berbahaya seperti timbal. Menurut Rahmawati [1] logam berat timbal (Pb) bersifat *non-essential* dan *non-degradable*. Logam berat timbal (Pb) tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup, bahkan keberadaannya dalam tubuh makhluk hidup bisa berbahaya bagi kesehatan dan kehidupannya. Biota perairan dapat musnah akibat adanya pencemaran timbal dalam air limbah yang mencapai jumlah yang signifikan di badan air.

Logam berat timbal dengan kadar kecil memiliki potensi untuk menyebabkan dampak bagi biota air apabila bertambah secara terus-menerus akibat adanya proses produksi pada pabrik kertas daur ulang. Sekecil apapun kadar timbal perlu diremediasi. Salah satu proses remediasi adalah menggunakan tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) karena menurut Ugy [2] Hg, Cd, Mn, Ag, Pb, dan Zn dapat dihilangkan dari Sungai Romi di Nigeria dengan menggunakan tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). Pemanfaatan Kayu Apu pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah individu tanaman Kayu Apu yang efektif untuk menurunkan kadar timbal pada limbah pabrik daur ulang kertas, membandingkan suhu dan pH limbah dengan baku mutu, serta menganalisis berat basah dan morfologi Kayu Apu setelah diaplikasikan dalam limbah pabrik daur ulang kertas.

Material dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober-Desember 2022. Pelaksanaan penelitian dilakukan di *Greenhouse* dekat pascasarjana UNISMA Malang. Sedangkan pengukuran kadar timbal limbah pabrik daur ulang kertas dilakukan di Perum Jasa Tirta I Malang.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah limbah cair pabrik kertas mengandung timbal (Pb), tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*), dan air bersih. Alat yang digunakan yaitu bak percobaan, jerigen, hp, ATK, kertas label, timbangan digital, botol ukuran 600 ml dan 1,5 liter, pHmeter air, termometer air, *Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (AAS), corong plastik, teko plastik, dan tisu.

Metode

Metode yang digunakan di dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan rancangan percobaan acak lengkap (RAL). Digunakan 4 perlakuan dengan 3 ulangan yaitu perlakuan A sebagai kontrol, B menggunakan 2 individu tanaman, C menggunakan 5 individu tanaman, dan D menggunakan 9 individu tanaman. Variabel yang digunakan yaitu variabel bebas berupa banyaknya individu tanaman Kayu Apu, variabel kontrol berupa volume limbah, dan variabel terikat berupa kadar timbal limbah; pH; suhu; berat basah tanaman; dan morfologi tanaman.

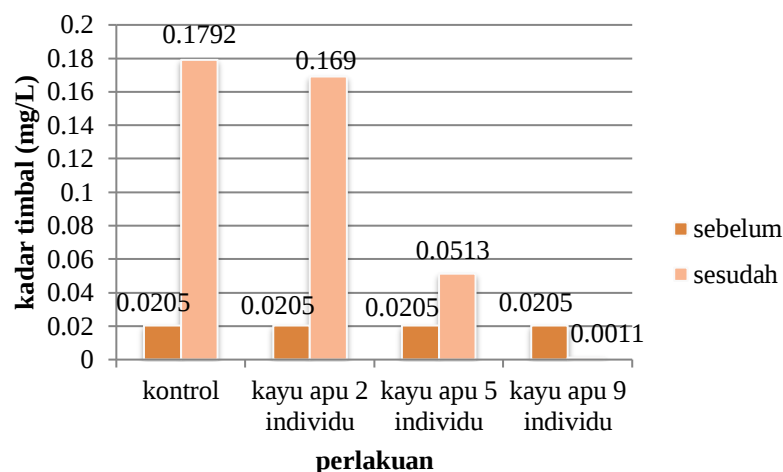
Cara Kerja

Dilakukan aklimatisasi tanaman Kayu Apu selama 10 hari sebelum diaplikasikan ke dalam limbah pabrik daur ulang kertas. Kemudian diukur suhu dan pH limbah selama 10 hari, kadar timbal limbah dan berat basah tanaman diukur sebelum dan sesudah penelitian, serta dilakukan pengamatan morfologi tanaman. Analisis data menggunakan *Anova one way* dan uji *paired t-test*.

Hasil dan Diskusi

Kadar Timbal Limbah

Kadar timbal merupakan salah satu indikator yang diukur dalam penelitian ini. Kadar timbal diukur dengan menggunakan *Absorbtion Spectrophotometer* (AAS). Hasil yang didapatkan setelah dilakukan pengukuran tertera pada gambar 1.



Gambar 1. Rata-Rata Kadar Timbal Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Gambar 1 memperlihatkan bahwa perlakuan dengan menggunakan individu tanaman yang semakin banyak, maka semakin rendah kadar timbal yang terkandung di dalam limbah. Penelitian Raissa menunjukkan bahwa [3] kepadatan tanaman berdampak pada seberapa baik proses fitoremediasi bekerja. Konsentrasi yang terserap meningkat dan jumlah logam berat dalam limbah cair berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah individu tanaman yang digunakan [4]. Hasil tersebut sesuai dengan analisis data yang dilakukan dengan menggunakan ANOVA *one way* bahwa perlakuan yang diberikan benar-benar mempengaruhi kandungan kadar timbal pada limbah pabrik kertas daur ulang.

Peningkatan kadar timbal terjadi akibat adanya proses evaporasi pada air limbah dan tidak adanya penambahan air di dalamnya. Sehingga air semakin lama semakin menyusut dan menyebabkan keadaan air semakin pekat, dan terjadi kenaikan pH limbah. Selain itu, proses fotosintesis yang terjadi pada tanaman Kayu Apu dapat menurunkan ion hidrogen, sehingga terjadi kenaikan pH limbah. Kenaikan pH limbah tersebut dapat disebabkan oleh kadar kelarutan timbal pada limbah semakin meningkat pula. Hasil tersebut dikuatkan dengan pernyataan Fitriyah bahwa [5] proses fotosintesis, denitrifikasi, disosiasi nitrogen organik, dan reduksi sulfat bertanggung jawab atas kenaikan pH. Kenaikan pH ini berkaitan dengan kelarutan logam berat timbal, karena tidak ada pengadukan dalam perlakuannya menyebabkan logam berat timbal tidak larut semuanya dalam air namun ada yang

mengendap di sedimen. pH yang meningkat akan menurunkan oksigen yang terlarut dalam air dan menaikkan toksisitas logam berat timbal. Selain itu, tanaman Kayu Apu sudah melewati titik jenuhnya, yang berakibat pada terlepasnya logam berat yang telah terserap ke lingkungan.

Perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini, menghasilkan keefektifan perbedaan jumlah individu tanaman Kayu Apu. Jumlah individu Kayu Apu yang efektif terjadi pada perlakuan jumlah yang paling tinggi yaitu 9 individu, Sehingga dapat dikatakan bahwa tanaman Kayu Apu dengan jumlah 9 individu efektif untuk menurunkan kadar timbal pada limbah pabrik daur ulang kertas.

Akar tanaman Kayu Apu yang mengandung fitokelatin atau bahan kimia pengkelat logam, dapat menyerap logam berat yang terlarut dalam air. Logam yang larut dalam air limbah melewati selaput sel-sel akar dan tersimpan di vakuola. kemudian ke daun melalui membran sel. Proses fitoremediasi pada Kayu Apu disebut dengan rizofiltrasi dan fitoekstraksi [6].

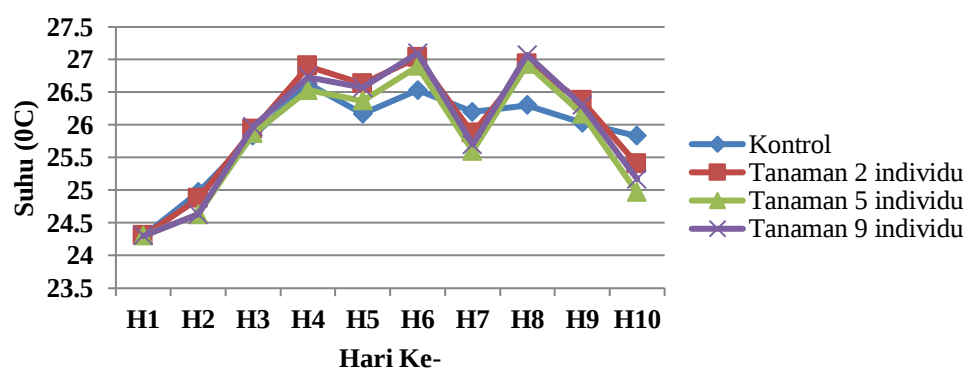
Tabel 1. Hasil Uji Anova Kadar Timbal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,070	3	,023	27,942	,000
Within Groups	,007	8	,001		
Total	,076	11			

Hasil uji anova yang ditunjukkan pada Tabel 1. Didapatkan nilai sig. < 0,05 sebesar 0,000 yang artinya, rata-rata pada setiap kelompok perlakuan berbeda nyata. Uji anova didapatkan berbeda nyata, yang berarti perlakuan yang diterapkan pada penelitian ini mempengaruhi kadar timbal yang terkandung dalam limbah pabrik daur ulang kertas.

Suhu Limbah

Suhu limbah pabrik daur ulang kertas dari bak percobaan dipengaruhi suhu lingkungan dan paparan cahaya matahari, sehingga penurunan dan peningkatan suhu yang terlihat pada Gambar 2. tidak stabil [7].



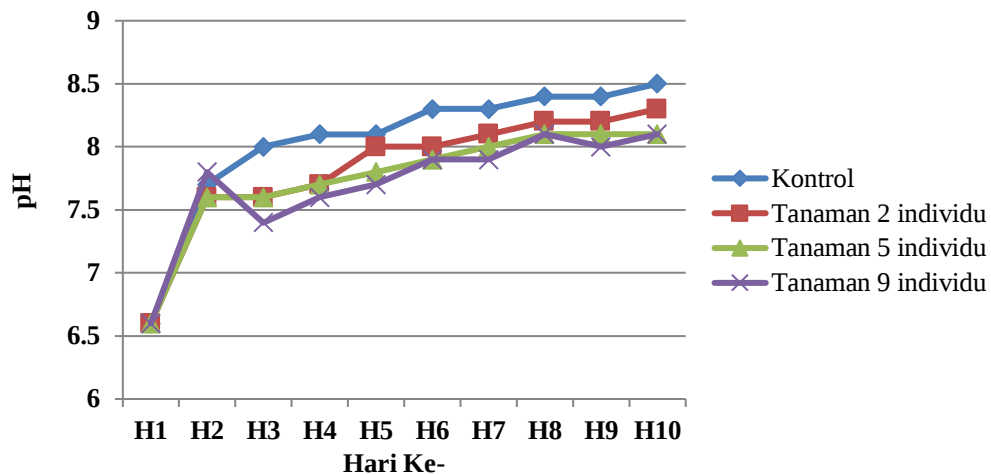
Gambar 2. Rata-Rata Suhu Selama 10 Hari

Hasil rata-rata suhu dari semua perlakuan pada penelitian ini, berkisar antara 24,3 °C – 27,1 °C yang masih berada pada kisaran suhu optimum bagi tanaman Kayu Apu. Sesuai dengan pernyataan

Handoko bahwa [8] tanaman Kayu Apu bisa hidup pada suhu 15 °C-35 °C, dan suhu optimal untuk tanaman agar dapat tumbuh antara 22 °C-30 °C.

pH Limbah

pH pada penelitian meningkat secara bertahap yang tertera pada Gambar 3. Meskipun terjadi peningkatan pH dari bersifat asam menjadi basa, tetapi pH yang diperoleh berkisar antar 6,6 – 8,5 masih memenuhi standar baku mutu yang diatur pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 yaitu 6-9 [9].

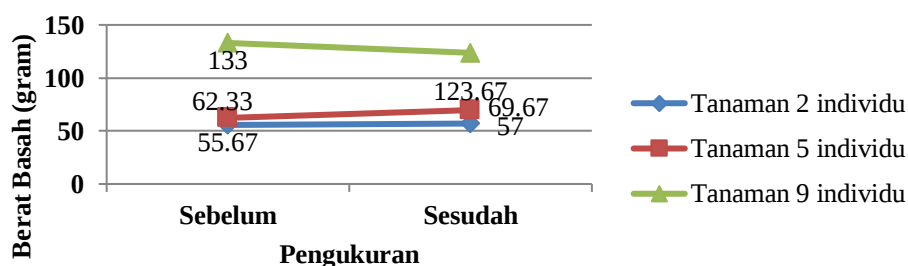


Gambar 3. Rata-Rata pH Selama 10 Hari

Peningkatan pH larutan yang terjadi pada penelitian ini, salah satunya disebabkan oleh tanaman Kayu Apu yaitu adanya proses fotosintesis tanaman. Hidrogen dan energi dibutuhkan untuk mengubah CO_2 menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ dalam proses fotosintesis. Hidrogen didapatkan dari ion hidrogen (H^+) yang terkandung di dalam air limbah dan udara. Pengambilan ion H^+ dari air limbah akan menurunkan kandungan ion H^+ dan menaikkan pH air limbah [10]. Selain itu, naik turunnya pH larutan terjadi karena air limbah atau media yang digunakan tidak mengalami pergantian air dan pengoperasian aerator selama dilakukan penelitian [11].

Berat Basah Tanaman Kayu Apu

Berat basah tanaman yang diukur pada penelitian ini adalah berat basah tanaman Kayu Apu sebelum dan setelah pengaplikasian ke dalam limbah pabrik daur ulang kertas yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rata-Rata Berat Basah Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Peningkatan berat basah pada tanaman Kayu Apu yang diaplikasikan ke limbah pabrik daur ulang kertas menunjukkan bahwa, tanaman Kayu Apu dapat menyerap nutrisi dengan baik. Sedangkan turunnya berat basah tanaman dikarenakan adanya toksisitas logam timbal yang terjadi pada tanaman.

Kemampuan akar tanaman untuk menyerap polutan yang mengandung unsur hara secara efisien, dan menyimpannya dalam jaringan tanaman untuk aktivitas metabolisme, yang digunakan untuk menghasilkan sel pada tanaman, menyebabkan kenaikan berat basah pada tanaman [12]. Sedangkan, terlalu banyak timbal yang masuk ke dalam sel dan berikatan pada enzim sebagai katalis, menyebabkan reaksi kimia dalam sel tumbuhan Kayu Apu terganggu dan mengakibatkan kerusakan tumbuhan, yang ditandai dengan nekrosis dan klorosis. Hal tersebut yang menyebabkan berat basah Kayu Apu berkurang [13].

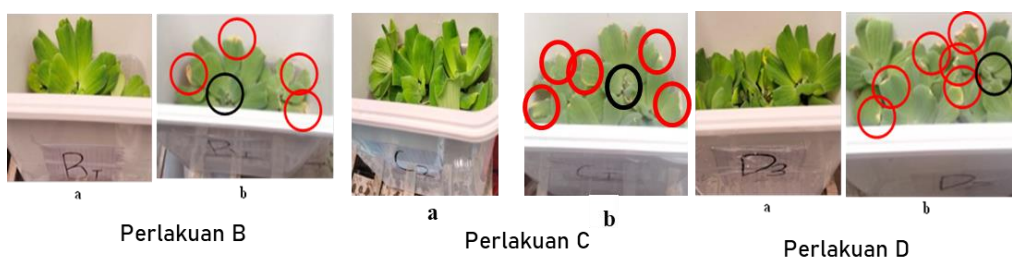
Tabel 2. Hasil Uji Paired t-Test Berat Basah Tanaman

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	sebelum pengaplikasi								
	an - sesudah pengaplikasi	-.77778	8.88403	5.12920	-22.84692	21.29137	-.152	2	.893
	an								

Hasil uji *paired t-test* berat basah tanaman menunjukkan sig. (2-tailed) > 0,05 yaitu 0,893 yang artinya, tidak ada beda yang nyata antara berat basah tanaman Kayu Apu sebelum dan setelah pengaplikasian. Perbedaan jumlah individu tanaman Kayu Apu (perlakuan) yang diaplikasikan pada limbah pabrik daur ulang kertas tidak dapat meningkatkan berat basah tanaman Kayu Apu.

Morfologi Tanaman Kayu Apu

Morfologi tanaman Kayu Apu pada semua perlakuan mengalami klorosis. Klorosis merupakan gejala menguningnya daun pada suatu tanaman. Klorosis dapat terjadi karena kadar timbal yang terserap dalam tanaman Kayu Apu berlebihan. Morfologi tanaman Kayu Apu yang diamati bagian daunnya ditunjukkan pada gambar 5 dengan gambar (a) adalah gambar sebelum tanaman Kayu Apu diaplikasikan ke dalam limbah sedangkan gambar (b) adalah gambar sesudah tanaman Kayu Apu diaplikasikan pada limbah.



Gambar 5. Morfologi Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) Sebelum (a) dan Sesudah (b) Pengaplikasian pada Perlakuan B, C, dan D

Hasil dari ketiga perlakuan, sebelum (a) diaplikasikan tanaman Kayu Apu berwarna hijau segar dan setelah (b) diaplikasikan pada limbah pabrik kertas daur ulang masih tetap bertahan hidup bahkan mampu tumbuh kuncup (ditandai dengan bulatan warna hitam), walaupun daun menguning dan rontok (ditandai oleh bulatan warna merah). Keadaan menguningnya daun tanaman Kayu Apu yang terjadi setelah (b) diaplikasikan pada limbah pabrik daur ulang kertas karena adanya toksisitas logam Pb pada tanaman.

Fitriani menyatakan bahwa [14] Pb, Cd, dan Hg merupakan logam yang dapat menurunkan kandungan klorofil (klorosis), yaitu dengan mencegah reaksi enzimatik dan masuknya nutrisi penting untuk pembentukan klorofil. Jumlah logam berat yang lebih tinggi menyebabkan kerusakan struktur kloroplas, sehingga jumlah klorofil menurun seiring dengan peningkatan jumlah logam berat. Nutrisi mineral seperti Mg dan Fe memiliki dampak yang signifikan terhadap perkembangan struktur kloroplas. Volume dan jumlah kloroplas akan mengalami perubahan akibat adanya penyerapan timbal yang berlebihan ke tanaman. Hal tersebut yang menyebabkan daun tanaman Kayu Apu menguning.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan jumlah tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) yang efektif dalam menurunkan kadar timbal pada limbah pabrik daur ulang kertas adalah perlakuan 9 individu tanaman. Rata-rata suhu dan pH dari semua perlakuan yang digunakan masih optimum bagi tanaman Kayu Apu, dan masih sesuai dengan standar baku mutu limbah pabrik kertas. Rata-rata berat basah tanaman Kayu Apu mengalami peningkatan pada perlakuan 2 individu tanaman dan 5 individu tanaman, Sedangkan pada perlakuan 9 individu tanaman terjadi penurunan. Tanaman Kayu Apu pada semua perlakuan daunnya menguning, mengering dan rontok tetapi kuncupnya masih tetap tumbuh.

Daftar Pustaka

- [1] Rahmawati, A., Kurniahu, H., Sriwulan., 2021. Komparasi Kandungan Timbal (Pb) Kertas Bekas Mengandung Tinta Pasca Aplikasi Cairan Rumen Sapi Berdasarkan Lama Inkubasi. *Jurnal Ilmiah Biologi*, Vol. 9, p.g. 477-482
- [2] Ugy, 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
- [3] Raissa, D.G. 2017. Fitoremediasi Air yang tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Echhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). *Tugas Akhir*. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- [4] Paramitasari, A. 2014. Kemampuan Tumbuhan Air Kiapu *Pistia stratiotes* dan Kiambang *Salvinia molesta* dalam Fitoremediasi Timbal. *Skripsi*. Fakultas Kehutanan IPB, Bogor
- [5] Fitriyah, U. 2011. *Potensi Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) sebagai Bioabsorber Timbal (Pb) dalam Air*. UNESA Press, Surabaya
- [6] Roni, K.A. 2020. Pembuatan Biofilter dari Tumbuhan Fitoremediasi Apu sebagai Media Penurunan Kadar COD dan BOD Limbah Cair di Pertamina RU III Plaju. *Skripsi*. Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang

- [7] Choirunnisa, A. T. 2020. Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dan Papyrus (*Cyperus papyrus* L.). *Skripsi*. Teknik Lingkungan UINSA, Surabaya
- [8] Handoko, Y. A., Riani, I. P., & Laurita, L. 2016. Studi Pertumbuhan *Pistia stratiotes* L. Terhadap Beberapa Jenis Logam. *Prosiding Konser Karya Ilmiah*, 2, 105-115
- [9] Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72. 2013. *Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur*. PERGUB. Jawa Timur
- [10] Charisma, W., Badrus, Z., Syafrudin. 2015. Pengaruh Waktu Tinggal dan Jumlah Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD, dan Warna. *Skripsi*. Teknik Lingkungan UNDIP, Semarang
- [11] Nurhidayah, D. Sofarini, Yunandar. 2014. Fitoremediasi Tumbuhan Air Kiambang (*Salvinia molesta*) Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) dan Perupuk (*Phragmites karka*) sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Karet. *EnviroScienteeae*, 18-26
- [12] Lutfiana, B. H. 2014. Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia sp.*) Kangkung Air (*Ipomea sp.*) dan Kayu Apu (*Pistia sp.*) dalam Menurunkan Bahan Organik Limbah Industri Tahu (Skala Laboratorium). *Universitas Diponegoro, Vol 3 No 1 Halaman 1-6*.
- [13] Haryati, M., Tarzan, P., Sunu, K. 2012. Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.) Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan yang Berbeda. *LenteraBio* Vol. 1 No. 3 September 2012:131–138
- [14] Fitriani, D. 2016. Pertumbuhan Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* L.) Bermikoriza pada Lahan Tercemar Pb. *Skripsi*. Jurusan Biologi FMIPA ITS, Surabaya