

Efektivitas Kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam Remediasi Logam Cu pada Limbah Elektroplating

Muhammad Tsabitul Fuad, Aunurohim, dan Tutik Nurhidayati

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: aunurohim@bio.its.ac.id

Abstrak—Studi tentang efektivitas kombinasi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam Cu pada limbah elektroplating telah dilakukan untuk mengetahui besarnya total konsentrasi Cu yang tertinggal pada limbah setelah perlakuan fitoremediasi oleh kombinasi kedua tumbuhan tersebut dan untuk mengetahui nilai faktor transfer Cu oleh kombinasi keduanya. Penelitian menggunakan metode Rancang Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu: variasi kombinasi *S. molesta* dan *H. verticillata* serta waktu pemaparan dengan tiga kali pengulangan. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi kombinasi pada media berupa 5L limbah elektroplating selama 14 hari setelah dilakukan aklimasi selama 5 hari. Tiga variasi kombinasi yang digunakan disebutkan sebagai kombinasi A (perbandingan berat *S. molesta* sebanyak 25 gram dengan *H. verticillata* sebanyak 10 gram), kombinasi B (perbandingan berat *S. molesta* sebanyak 10 gram dengan *H. verticillata* sebanyak 25 gram), dan kombinasi C (perbandingan berat *S. molesta* sebanyak 10 gram dengan *H. verticillata* sebanyak 10 gram). Total konsentrasi logam Cu yang tertinggal setelah perlakuan fitoremediasi oleh kombinasi kedua tumbuhan itu tidak berkurang secara signifikan. Namun, faktor transfer yang terbesar didapat dari kombinasi B, yaitu sebesar 10,2 L/kg.

Kata Kunci—Efektivitas, Cu, *Salvinia molesta*, *Hydrilla verticillata*, Limbah Elektroplating.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan. Dalam kenyataannya, air bukan hanya dibutuhkan manusia saja, air juga merupakan bahan yang mutlak harus ada, baik untuk tumbuhan, hewan, maupun mikroorganisme. Hal ini disebabkan air berfungsi dalam pertumbuhan dan perkembangan organisme hidup [1].

Meningkatnya kebutuhan manusia terhadap air dan tanah telah banyak menyebabkan berbagai dampak negatif berupa pencemaran dan kerusakan lingkungan. Berbagai aktivitas seperti industri, pertambangan, dan juga transportasi telah banyak memberikan kontribusi terhadap pencemaran [2]. Dan, kontaminasi pada tanah dan perairan diakibatkan oleh banyak penyebab termasuk limbah industri, limbah penambangan, residu pupuk, dan pestisida hingga bekas instalasi senjata kimia [3].

Limbah logam berat banyak terdapat di dalam beberapa limbah industri kimia, misalnya pada industri elektroplating, metalurgi, *smelting* dan lain-lain [4]. Berdasarkan hasil analisis laboratorium, diketahui bahwa air limbah industri

elektroplating mengandung berbagai jenis ion logam berat yang berbahaya bagi lingkungan, khususnya lingkungan perairan sungai. Berbagai jenis ion logam berat yang terkandung dalam air limbah industri elektroplating, seperti: ion kromium valensi VI (Cr^{6+}), kromium total (Cr total), sianida (CN^-), tembaga (Cu^{2+}), seng (Zn^{2+}), nikel (Ni^{2+}), timbal (Pb^{2+}), dan kadmium (Cd^{2+}) [5].

Berdasarkan data yang dicantumkan oleh [5], diketahui bahwa konsentrasi Cu yang dikandung limbah elektroplating berkisar 5,7 mg/L, sementara baku mutu limbah elektroplating berdasarkan SKGUB Jawa Timur No.45 Tahun 2002 untuk tembaga ialah 0,6 mg/L. Dengan demikian, tercatat bahwa kualitas air limbah industri elektroplating masih di atas baku mutu air limbah untuk industri elektroplating yang ditetapkan. Oleh karena itu, air limbah industri elektroplating sebelum dialirkan ke perairan sungai perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Pada dasarnya, logam berat dalam air buangan dapat dipisahkan dengan berbagai cara, yaitu dengan proses fisika, kimia, dan biologi. Proses pengambilan logam berat yang terlarut dalam suatu larutan biasanya dilakukan dengan cara presipitasi, *reverse osmosis*, *ion exchange*, dan absorpsi. Salah satu cara pengambilan logam berat dengan sistem absorpsi yaitu dengan fitoremediasi [6].

Perkembangan akhir-akhir ini menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat dalam pemanfaatan lingkungan dan proses alami untuk mengurangi pencemaran lingkungan, misalnya dengan menggunakan tumbuhan ataupun mikroorganisme yang ada di lingkungan. Fitoremediasi sebagai salah satu upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk mengurangi pencemaran lingkungan dewasa ini semakin banyak dipakai, baik untuk limbah domestik maupun limbah industri [7]. Salah satu alternatif pengolahan air terkontaminasi logam berat, khususnya untuk mereduksi kandungan logam berat dalam air tercemar logam berat adalah fitoremediasi dengan tanaman *Salvinia molesta*. Ki Ambang (*Salvinia molesta*) merupakan salah satu tanaman yang berpotensi menjadi fitoremediator logam berat dalam pengolahan limbah dan air buangan. Dengan memanfaatkan sifat pertumbuhannya yang cepat serta bentuk akar yang panjang, berbulu halus dan tergenang ke dalam air, diharapkan tanaman tersebut dapat dimanfaatkan untuk penyerapan logam berat di perairan. Pemilihan *Salvinia molesta* sebagai tanaman

fitoremediator pada penelitian ini didasarkan pada pertimbangan bahwa *Salvinia molesta* 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 perakaran yang lebat dan panjang. Berdasarkan hal tersebut, diharapkan *Salvinia molesta* dapat secara aktif menyerap polutan, namun tidak menghalangi penetrasi cahaya ke dalam perairan [8].

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh [9], ternyata di samping *Salvinia molesta*, *Hydrilla verticillata* yang memiliki kesamaan dalam hidupnya di air dan merupakan gulma bagi tanaman lain juga mampu menyerap logam Cu dengan baik. Hanya saja, *Hydrilla verticillata* merupakan tumbuhan gulma bawah permukaan air, sedangkan *Salvinia molesta* merupakan gulma permukaan air [8]. Yang menarik ialah *Hydrilla verticillata* memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada *Salvinia molesta* saat menyerap Cu dalam konsentrasi 5 ppm, tetapi terjadi hal sebaliknya ketika konsentrasi Cu lebih dari 5 ppm [10].

Dengan melihat hal tersebut, diduga efisiensi penyerapan logam Cu yang ada pada limbah elektroplating oleh *Salvinia molesta* akan bertambah dengan keberadaan *Hydrilla verticillata* yang ditanam dalam tempat yang sama, karena keduanya hidup di air, maka dimungkinkan terjadi kompetisi antara keduanya dalam mendapatkan nutrisi. Ditambah, kombinasi tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Eichhornia crassipes* mampu menyerap logam kromium (VI) lebih dari kemampuan secara monokultur [11].

Oleh karena itu, dilakukan penelitian tentang efektivitas kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam Cu pada limbah elektroplating untuk mengetahui konsentrasi Cu yang tertinggal pada limbah elektroplating setelah perlakuan fitoremediasi oleh kombinasi kedua tumbuhan tersebut dan mengetahui faktor transfer Cu oleh kombinasi keduanya.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret sampai dengan Mei 2013, di Laboratorium Zoologi Biologi ITS. Analisis konsentrasi logam berat Cu pada tanaman uji dilakukan di Laboratorium Lingkungan Pusat Studi Lingkungan dan Pemukiman LPPM-ITS.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah elektroplating, *Salvinia molesta*, *Hydrilla verticillata*, dan akuades.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah akuarium, AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), dan timbangan analitik.

III. URAIAN PENELITIAN

A. Persiapan Fitoremediasi

Sampel tanaman *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata*

diambil, lalu diaklimasi dengan akuades selama lima hari. Aklimasi selama lima hari mengacu pada penelitian [9]. Setelah itu, diambil *S. molesta* seberat 25 gram dan 10 gram *H. verticillata* untuk perlakuan A, *H. verticillata* seberat 25 gram dan 10 gram *S. molesta* untuk perlakuan B, serta 10 gram *S. molesta* dan 10 gram *H. verticillata* untuk perlakuan C. Masing-masing perlakuan dilakukan pada wadah berupa toples bening berisi limbah cair elektroplating sebanyak 5 L dengan dua kali pengulangan. Limbah elektroplating diperoleh dari industri elektroplating di desa Sukolegok, kecamatan Sukodono, kabupaten Sidoarjo. Penggunaan limbah sebanyak 5 L mengacu pada penelitian [12], sedangkan penggunaan 25 gram tanaman mengacu pada ukuran baku tanaman *S. molesta* dimana untuk meremediasi 1 liter cairan sampel dibutuhkan 5 gram berat basah [13].

B. Perlakuan Fitoremediasi

Setelah diaklimasi selama lima hari, ketiga variasi perlakuan dengan *S. molesta* dan *H. verticillata* masing-masing dimasukkan ke dalam toples berisi limbah elektroplating 5 L sebagai perlakuan A, B dan C. Fitoremediasi yang dilakukan adalah fitoremediasi statis (air yang di-fitoremediasi dalam keadaan diam dan tidak bergerak) selama 14 hari perlakuan.

C. Monitoring Kadar Logam Cu

Pengukuran kadar logam Cu pada limbah elektroplating dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak 20 mL pada hari ke-0, 7, dan 14. Sedangkan, sampel pada tanaman yang akan digunakan pada pengujian mengacu pada penelitian [14] yaitu sebanyak 2-4 gram. Sampel dari masing-masing perlakuan tersebut di atas, baik limbah maupun tanaman diukur kadar Cu-nya dengan AAS.

D. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu: variasi kombinasi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* serta waktu pemaparan, menggunakan tiga kali pengulangan.

IV. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian mengenai kemampuan kombinasi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* ini dilakukan untuk mengetahui besarnya total konsentrasi Cu yang tertinggal setelah perlakuan fitoremediasi oleh kombinasi tersebut dan nilai faktor transfer Cu yang dimiliki kombinasi kedua tumbuhan tersebut. Penelitian ini dilakukan selama 14 hari (setelah dilakukan aklimatisasi sebelumnya selama lima hari) dengan tiga variasi kombinasi, yaitu: kombinasi A (dengan perbandingan *S. molesta* dan *H. verticillata* 25:10), kombinasi B (dengan perbandingan *S. molesta* dan *H. verticillata* 10:25), dan kombinasi C (dengan perbandingan *S. molesta* dan *H. verticillata* 10:10) dengan tiga kali pengulangan pada masing-masing kombinasi.

A. Hasil Pengamatan Kadar Cu pada Limbah Elektroplating

Menurut SK-GUB Jawa Timur No.45 tahun 2002, baku mutu air limbah elektroplating memiliki kadar Cu sebesar 0,6

mg/L. Sedangkan, kadar Cu pada limbah elektroplating yang didapat dari industri elektroplating di daerah Sukodono adalah 20,13 mg/L. Sampel limbah elektroplating yang digunakan adalah sampel limbah elektroplating yang masih baru dilakukan pengolahan/pencucian pertama dan belum siap dibuang ke lingkungan. Dan, setelah empat belas hari perlakuan, kadar Cu tidak mengalami penurunan secara signifikan. Kadar Cu pada limbah selama penelitian (baik untuk kombinasi A, B, dan C) disajikan dalam tabel 1.

Berdasarkan hasil di atas, penurunan kadar Cu pada limbah elektroplating setelah perlakuan fitoremediasi dengan menggunakan variasi kombinasi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* masih belum signifikan. Hal ini dimungkinkan karena jumlah berat tanaman yang digunakan tidak banyak, yaitu dengan perbandingan kombinasi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* secara berurutan 25:10, 10:25, dan 10:10 dalam limbah sebanyak 5L. Pada penelitian yang dilakukan [12] yang menggunakan *Hydrilla verticillata*, kadar Cu pada limbah cair kerajinan perak sebanyak 5L yang semula 4,628 mg/L menurun secara signifikan pada akhir penelitian, yaitu hari ke-30, dengan rata-rata kadar Cu pada masing-masing kontrol dan variasi beratnya 150 gram; 200 gram; 250 gram berturut-turut adalah 3,782 mg/L; 2,106 mg/L; 1,368 mg/L; 0,862 mg/L. Hal demikian menyimpulkan bahwa metode kombinasi dengan perbandingan yang kecil masih kurang efektif dibanding metode monokultur dengan jumlah tanaman fitoremediator yang besar. Terbukti, dengan menggunakan *Hydrilla verticillata* saja (tanpa kombinasi), namun dengan jumlah berat yang besar, yaitu 150 gram, misalnya, bisa menurunkan kadar Cu yang semula 4,628 mg/L menjadi 2,106 mg/L. Sedangkan, dengan menggunakan kombinasi, namun jumlah berat yang kecil, yaitu 10 gram *S. molesta* dan 10 gram *H. verticillata*, hanya mampu menurunkan kadar Cu yang semula 20,13 mg/L menjadi 19,3 mg/L.

Tidak berkurangnya kadar Cu pada limbah elektroplating secara signifikan bisa disebabkan beberapa hal, di antaranya: banyaknya jenis dan kandungan logam dalam limbah elektroplating serta adanya efek kompetitif antara logam Cu dengan logam lainnya yang terdapat pada limbah elektroplating. Dalam penelitiannya tentang fitoremediasi logam Cu dan Zn dengan eceng gondok, [1] menyebutkan bahwa kehadiran Zn menyebabkan penurunan serapan logam Cu oleh tanaman eceng gondok. Penurunan tersebut disebabkan oleh: (i) ukuran ion logam Zn lebih kecil dari ion logam Cu sehingga logam Zn cenderung lebih dulu masuk ke dalam sel akar dibandingkan logam Cu; (ii) secara umum, logam Cu dan Zn merupakan hara esensial bagi tanaman yaitu sebagai unsur mikro. Unsur mikro dibutuhkan dalam jumlah yang relatif kecil bagi tanaman, akan tetapi persentase unsur Zn yang diperlukan tanaman untuk tumbuh lebih tinggi dibandingkan persentase unsur Cu, sehingga logam Zn terserap lebih tinggi dibandingkan dengan logam Cu.

B. Hasil Pengamatan Kadar Cu pada Tanaman Uji

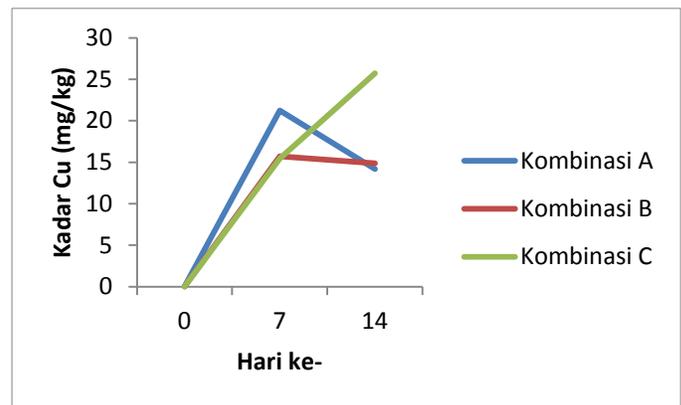
Peningkatan dan penurunan kadar Cu dalam limbah elektroplating ternyata juga terjadi pada tanaman *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata*. Hal ini terjadi akibat perpindahan logam dari limbah ke dalam tanaman, yaitu melalui mekanisme penyerapan dalam tanaman. Peningkatan

Tabel 1. Pengamatan kadar Cu pada limbah elektroplating

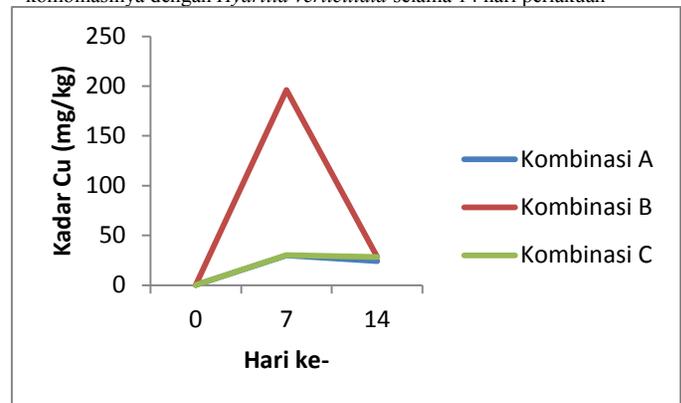
Waktu	Kadar Cu pada Limbah Elektroplating (mg/L)		
	Kombinasi A (25:10)	Kombinasi B (10:25)	Kombinasi C (10:10)
0	20,13	20,13	20,13
7	20,41	20,75	20,43
14	20,43	20,15	19,3

Tabel 2. Pengamatan kadar Cu pada tanaman *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata*

Waktu	Kadar Cu pada Tanaman (mg/kg)					
	Kombinasi A (25:10)		Kombinasi B (10:25)		Kombinasi C (10:10)	
	<i>S. molesta</i>	<i>H. verticillata</i>	<i>S. molesta</i>	<i>H. verticillata</i>	<i>S. molesta</i>	<i>H. verticillata</i>
0	0,017	0,048	0,017	0,048	0,017	0,048
7	21,25	29,87	15,71	195,98	15,44	30,29
14	14,16	24,25	14,85	28,16	25,73	28,46



Gambar 1a. Grafik kandungan Cu pada *Salvinia molesta* pada berbagai kombinasinya dengan *Hydrilla verticillata* selama 14 hari perlakuan



Gambar 1b. Grafik kandungan Cu pada *Hydrilla verticillata* pada berbagai kombinasinya dengan *Salvinia molesta* selama 14 hari perlakuan

dan penurunan kadar logam Cu dalam tanaman ditunjukkan pada tabel 2.

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, dapat diketahui bahwa akumulasi logam Cu pada tanaman *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* meningkat pada hari ke-7, namun kemudian menurun pada hari ke-14. Hal ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh [9], yaitu kadar Cu pada air terkontaminasi Cu terus menurun, sementara

kadar Cu yang diserap *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* terus meningkat hingga penelitian berakhir pada hari ke-10. Namun, teori bahwa besar nilai akumulasi logam berat itu meningkat seiring dengan lama waktu pemaparan (seperti pada [8]) itu tidak terjadi pada penelitian ini, karena peningkatan hanya terjadi hingga hari ke-7, namun pada hari ke-14, justru mengalami penurunan, terutama pada perlakuan kombinasi A pada air limbah elektroplating. Sementara pada percobaan di kedua tanaman objek, penurunan akumulasi terjadi hampir di semua perlakuan kombinasi A, B, dan C dari hari ke-7 hingga hari ke-14, kecuali pada tanaman *S. molesta* pada perlakuan kombinasi C. Penurunan akumulasi terjadi disebabkan tumbuhan akan mengalami kejenuhan disebabkan mencapai batas ambang nilai akumulasi yang bisa dilakukan.

Tanaman menyerap logam-logam yang larut dalam air melalui akar-akarnya. Di dalam akar, tanaman melakukan perubahan pH oleh akar dan membentuk suatu zat kelat yang disebut fitosiderofor. Fitosiderofor yang terbentuk ini akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui transpor aktif. Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut xilem dan floem ke bagian tumbuhan lain, yaitu batang/tangkai dan daun. Dan untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, dengan menimbun logam di dalam organ tertentu [1].

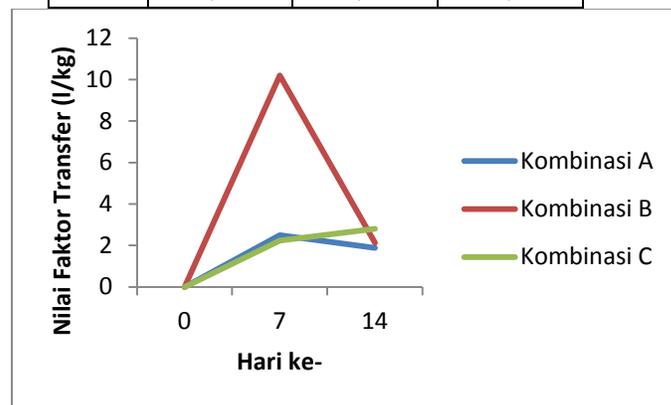
Pada *Salvinia molesta*, akumulasi logam (Cd pada penelitian [13] dan Ni pada penelitian [8]) pada akar lebih tinggi daripada non akar. Hal ini disebabkan karena kemampuan *S. molesta* untuk mentranslokasikan logam ke organ non akar rendah. Hal demikian terkait dengan kerja pita Caspary di endodermis sel akar. Pita Caspary memiliki fungsi penting sebagai penghalang masuknya air serta mineral terlarut melalui jalur ekstraseluler, menentukan jenis-jenis mineral apa saja yang dapat memasuki xilem akar. Adanya pita caspary pada endodermis jaringan akar ini dapat menghambat transport logam berat dari akar ke organ batang dan daun sehingga konsentrasi logam nikel di akar lebih besar daripada di batang dan daun [8].

Di samping itu, kadar logam dalam akar lebih tinggi disebabkan karena: (i) tanaman melakukan lokalisasi unsur logam dengan menimbun pada bagian organ akar sebagai langkah antisipasi peracunan oleh unsur logam terhadap sel tumbuhan mekanisme detoksifikasi ini bertujuan agar tidak menghambat proses metabolisme tumbuhan; (ii) terjadi rhizofiltrasi, yaitu tanaman yang menggunakan akar untuk menyerap, mendegradasi dan mengakumulasi bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik, sehingga logam yang diserap oleh tanaman cenderung terakumulasi di akar [1].

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu: (i) penyerapan oleh akar lewat pembentukan suatu zat kelat yang disebut fitosiderofor. Molekul fitosiderofor yang terbentuk ini akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transpor aktif; (ii) translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain melalui jaringan pengangkut, yaitu: xilem dan floem; (iii) lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut [1].

Tabel 3. Nilai faktor transfer Cu pada kombinasi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata*

Waktu	Faktor Transfer Cu (L/kg)		
	Kombinasi A (25:10)	Kombinasi B (10:25)	Kombinasi C (10:10)
0	0	0	0
7	2,5	10,2	2,24
14	1,88	2,13	2,8



Gambar 2. Grafik nilai faktor transfer Cu pada kombinasi *S. molesta* dan *H. verticillata*

Terlepas dari jumlah tanaman yang digunakan memang tidak banyak, namun dengan melihat hasil pengamatan nilai akumulasi pada kedua tanaman tersebut pada penelitian ini, dinyatakan bahwa tanaman *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* tidak dapat dimasukkan ke dalam kategori tanaman berpotensi hiperakumulator logam meskipun dikombinasikan. Tanaman yang termasuk spesies hiperakumulator (*hyperaccumulator species*) adalah spesies tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat 100 kali lipat dibandingkan tanaman pada umumnya (*non-accumulator plants*). Tanaman hiperakumulator mampu mengakumulasi lebih dari 10 ppm Hg; 100 ppm Cd; 1000 ppm Co, Cr, Cu, dan Pb; dan 10000 ppm Ni dan Zn. Maka, kombinasi *S. molesta* dan *H. verticillata* pada penelitian ini tidak termasuk ke dalam kategori hiperakumulator untuk logam Cu [15].

C. Faktor Transfer Cu pada Kombinasi Tanaman Uji

Nilai faktor transfer (FT) didapat dari perhitungan berdasarkan rasio konsentrasi polutan dalam tanaman terhadap konsentrasi polutan dalam media hidupnya [16]. Hasil penghitungan nilai faktor transfer disajikan pada tabel 3.

Berdasarkan grafik dan tiga tabel tadi, kombinasi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* memiliki nilai faktor transfer lebih besar dari 1. Faktor transfer yang lebih besar dari 1 merupakan batas ambang terendah suatu tanaman disebut sebagai akumulator unsur. Sedangkan, pada tingkat nilai faktor transfer lebih besar dari 20, telah dicapai nilai ekonomis karena dapat menghemat biaya pembersihan hingga 95% [16].

Namun demikian, pada penelitian ini, nilai faktor transfer terbesar dimiliki oleh kombinasi B (perbandingan *S. molesta* : *H. verticillata* = 10 : 25) pada hari ke-7, yaitu 10,2 L/kg. Sedangkan, nilai faktor transfer terendah setelah penelitian berakhir dimiliki oleh kombinasi A (perbandingan 25 : 10), yaitu 1,88 L/kg. Dan, nilai faktor transfer yang dimiliki oleh kombinasi C (perbandingan 10 : 10) tidak terlalu tinggi dan

tidak terlalu rendah, namun sampai saat penelitian berakhir, masih terus meningkat.

D. Hasil Pengamatan Morfologi Tanaman Uji

Pada hari ke-0, tanaman *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* pada ketiga variasi kombinasi terlihat berwarna hijau. Seiring bertambahnya waktu, nilai akumulasi Cu pada kedua tanaman pada masing-masing kombinasi mengalami peningkatan (tabel 2), warna tanaman pun berubah. Pada hari ke-7, kedua tanaman pada masing-masing kombinasi mulai menunjukkan gejala klorosis, yaitu daun berubah warna, semula hijau menjadi kuning kecoklatan, yang diduga tanaman mengalami toksisitas akibat cekaman abiotik (diduga logam Cu) oleh limbah elektroplating. Bahkan, juga muncul beberapa bercak kehitaman pada permukaan daun *Salvinia molesta* pada masing-masing kombinasi yang biasa disebut nekrosis. Pencemaran logam berat pada tanaman menunjukkan gejala seperti klorosis, nekrosis pada ujung dan sisi daun serta busuk daun yang lebih awal (seperti tampak pada tabel 4). Sedangkan, gejala toksisitas pada kedua tanaman diduga akibat tanaman mengalami kekurangan nutrisi [17].

Pada hari ke-14, warna cokelat dan bercak kehitaman semakin bertambah. Hal ini diakibatkan karena tumbuhan terpapar logam Cu dalam waktu yang semakin lama sehingga penghambatan sintesis klorofil juga semakin tinggi. 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 [8].

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah besarnya total konsentrasi Cu yang tertinggal setelah perlakuan fitoremediasi oleh kombinasi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* masih belum berkurang secara signifikan. Sedangkan, nilai faktor transfer Cu oleh kombinasi kedua tanaman tersebut paling besar dimiliki oleh kombinasi B dengan berat *S. molesta* 10 gram dan *H. verticillata* 25 gram (atau perbandingan 10:25), yaitu 10,2 L/kg. Nilai faktor transfer tersebut membuat kombinasi *S. molesta* dan *H. verticillata* belum tergolong fitoremediasi yang efektif untuk meremediasi logam Cu pada limbah elektroplating.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syahputra, R. 2005. *Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes (Mart) Solms.)*. Logika, vol. 2 no.2 Juli 2005. ISBN: 1410-2315. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [2] Hidayat, B. 2011. *Screening Tumbuhan Air Hiperakumulator*. Disertasi Program Doktor Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara
- [3] Hidayati, N. 2005. *Ulasan: Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator*. Jurnal Hayati, Maret 2005, hlm. 35-40, vol. 12 no. 1, ISBN 0854-8587. Pusat Penelitian Biologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Bogor
- [4] Suprihatin, E.A. 2009. *Biosorpsi Logam Cu (II) dan Cr (IV) pada Limbah Elektroplating dengan Menggunakan Biomassa Phanerochaete chrysosporium*. Jurnal Teknik Kimia vol. 4 no. 1, September 2009. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jawa Timur

Tabel 4. Perubahan Morfologi *Salvinia molesta* dan *Hydrilla verticillata* selama fitoremediasi hari ke-0 hingga hari ke-14

Jenis Kultur	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14
Kombinasi A			
Kombinasi B			
Kombinasi C			

- [5] Sumada, K. 2006. *Kajian Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Elektroplating yang Efisien*. Jurnal Teknik Kimia vol. 1, no. 1, September 2006. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jawa Timur
- [6] Soeprijanto, B. Aryanto dan R. Fabella. 2012. *Biosorpsi Ion Logam Berat Cu (II) dalam Larutan Menggunakan Biomassa Phanerochaete chrysosporium*. Publikasi Ilmiah Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [7] Prihandrijanti, M., T. Lidiawati, E. Indrawan, H. Winanda dan H. Gunawan. 2009. *Fitoremediasi dengan Eceng Gondok dan Kiambang untuk Menurunkan Konsentraasi Deterjen, Minyak Lemak, dan Krom Total*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2009. ISBN 978-979-98300-1-2. Bandung
- [8] Widiarso, T. 2011. *Fitoremediasi Air Tercemar Nikel Menggunakan Kiambang (Salvinia molesta)*. Skripsi. Jurusan Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [9] Begum, A., Krishna and Hari S. 2010. *Bioaccumulation of Trace Metals by Aquatic Plant*. Department of Chemistry. School of Engineering. Bangalore
- [10] Elankumaran, R., Raj M.B. and M.N. Madhyastha. 2003. *Biosorption of Copper from Contaminated Water by Hydrilla verticillata Casp. and Salvinia sp.* Department of Chemical Engineering of the National Institute of Technology Karnataka (NITK), 575-025 Surathkal. India
- [11] Puspita, U.R., A.S. Siregar dan N.V. Hidayati. 2011. *Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) yang Terdapat pada Limbah Cair Industri Batik*. Jurnal Penelitian Berkala Perikanan Terubuk, Februari 2011, hlm. 58-64, vol. 39 no. 1, ISSN 0126-4265
- [12] Sumiyati, S., D.S. Handayani dan W. Hartanto. 2009. *Pemanfaatan Hydrilla (Hydrilla verticillata) untuk Menurunkan Logam Tembaga (Cu) dalam Limbah Elektroplating Studi Kasus: Industri Kerajinan Perak Kerajinan Perak Kelurahan Citran, Kotagede*. Jurnal Presipitasi vol. 7 no. 2 September 2009. ISSN 1907-187X
- [13] Permatasari, A.A. 2010. *Fitoremediasi Logam Berat Cd Menggunakan Ki Ambang (Salvinia molesta) pada Media Modifikasi Lumpur Sidoarjo*. Skripsi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [14] Kholidiyah, N. 2010. *Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) Sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam*

Berat Kadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. Skripsi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang

- [15] Sudaryono. 1999. *Bioremediasi Terhadap Tanah Tercemar Minyak Bumi Parafinik dan Aspak.* Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah dan Pemulihan Kerusakan Lingkungan-BPPT, 121-132. Jakarta
- [16] Tjahaja, P.I. dan P. Sukmabuana. 2007. *Penyerapan ¹³⁴Cs dari Tanah oleh Tanaman Bunga Matahari (Helianthus annuus, Less.).* ISSN 1411-3481. Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri Batan. Bandung
- [17] Sandy, N.J., T. Nurhidayati dan K.I. Purwani. 2010. *Profil Protein Tanaman Salvinia molesta yang Dikulturkan pada Media Modifikasi Air Lumpur Sidoarjo.* Jurnal Ilmiah Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya