



Artikel Penelitian

EFEKTIFITAS *LIMNOCHARIS FLAVA* DAN *HYDRILLA VERTICILLATA* SEBAGAI FITOREMEDIATOR LOGAM TEMBAGASuci Amalia^{1*}, A. Ghanaim Fasya¹, Umi Hasanah^{1,2}, Mohammad Rosydul Aqli HS¹¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Indonesia, 65144²Madrasah Tsanawiyah Maulana Ishak, Lamongan, Indonesia, 62264**INFO ARTIKEL****Riwayat Artikel**

Diterima 01 Desember 2022

Direvisi 04 April 2023

Tersedia online 01 November 2023

Email (Amel_kimiaa@kim.uin-malang.ac.id)

ABSTRAK

Limnocharis flava and *Hydrilla verticillata* are alternative plants which can be used as a phytoremediation agent. The aim of this research is to find out the ability of *Limnocharis flava* and *Hydrilla* in remediating heavy metal based on the effect of variations in copper metal concentration. The content of copper metal was measured using an Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) instrument. Exposure to copper at a concentration of 7 mg/Kg was the concentration with the highest accumulation of copper metal in all parts of the plant. In the roots, stems, and leaves of *Limnocharis flava*, the copper content was 460.53 mg/Kg, 437.20 mg/Kg, and 452.34 mg/Kg. Meanwhile, for *Hydrilla verticillata*, the stems and leaves obtained 513.77 mg/Kg and 2761.98 mg/Kg. The results of the analysis of the ability of *Limnocharis flava* and *Hydrilla verticillata* as mediator of copper metal show that the two plants are included in the category of metal accumulator plants with the highest absorption reaching 95.83% and 98.86% respectively.

Keywords: Phytoremediation, *Limnocharis flava*, *Hydrilla verticillata*, Copper, Water.

Limnocharis flava dan *Hydrilla verticillata* adalah tanaman alternatif yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam berat yang didasarkan pada pengaruh variasi konsentrasi logam tembaga. Kandungan logam tembaga diukur menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Pemaparan tembaga dengan konsentrasi 7 mg/Kg merupakan konsentrasi dengan akumulasi logam tembaga tertinggi pada seluruh bagian tanaman. Pada akar, batang, dan daun *Limnocharis flava* diperoleh kandungan tembaga sebesar 460,53 mg/Kg, 437,20 mg/Kg, dan 452,34 mg/Kg. Sedangkan pada tanaman *Hydrilla verticillata* pada bagian batang dan daun diperoleh sebesar 513,77 mg/Kg dan 2761,98 mg/Kg. Hasil analisis terhadap kemampuan *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* sebagai mediator logam tembaga menunjukkan bahwa kedua tanaman termasuk dalam kategori tanaman akumulator logam dengan penyerapan paling tinggi masing-masing mencapai 95,83% dan 98,86%.

Kata Kunci: Fitoremediator, *Limnocharis flava*, *Hydrilla verticillata*, Tembaga, Air.

1. Pendahuluan

Air merupakan salah satu unsur penting yang dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup yang ada di muka bumi termasuk manusia. Akan tetapi, karena tingginya aktivitas manusia terutama dalam bidang industri mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan perairan. Ketika air tercemar maka ia akan mengandung berbagai senyawa organik, anorganik dan termasuk logam berat yang berbahaya seperti tembaga. Di bidang industri, tembaga digunakan sebagai bahan utama, bahan baku, atau katalisator. Logam tembaga dalam sistem periodik unsur terdapat pada golongan transisi dengan nomor atom 29 dengan massa atom 63,546 g/mol dan densitas sebesar 8,96 g/cm³[1]. Tembaga di alam mayoritas ditemukan dalam bentuk senyawa akan tetapi terkadang juga ditemukan dalam keadaan bebas.

Logam tembaga seringkali ditemukan dalam perairan Indonesia yang tercemar. Ambang batas dari logam tembaga di perairan laut adalah sebesar 0,05 mg/L dan baku mutu air nasional 0,02 mg/L [2]. Di beberapa perairan Lombok Tengah Indonesia, kadar logam tembaga di 2 lokasi berbeda yaitu 0,05 dan 0,07 mg/L[3]. Pencemaran tembaga di sungai Banjir Kanal Timur Semarang berkisar 0,06-0,20mg/L [4], sedangkan di perairan kota Pekalongan kadar tembaga sebesar 0,01 mg/L [5]. Dari uraian tersebut, makhluk hidup di perairan yang tercemar tembaga juga terakumulasi logam tersebut. Ion tembaga (II) dapat terakumulasi di dalam otak, kulit, pankreas dan hati yang jika terpapar secara terus-menerus dan menyebabkan gangguan metabolisme, keracunan akut serta kronis. Untuk mengatasi dan meminimalisir jumlah kandungan tembaga dalam perairan dapat dilakukan fitoremediasi. Tumbuhan dapat menyerap polutan logam berat, kemudian diakumulasi disebagian atau seluruh tubuhnya. Fitoremediasi merupakan metode remediasi logam berat dengan biaya rendah dan berkelanjutan untuk menghilangkan kontaminan dalam air. Terdapat berbagai macam tanaman akuatik yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi diantaranya adalah *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata*.

Limnocharis flava dapat menaikkan kadar DO (*dissolve oxygen*) dan menurunkan kadar BOD (*biological oxygen demand*), COD (*chemical oxygen demand*), TSS (*total suspended solid*), TDS (*total dissolved solid*), sulfat, fosfat dan pH [6][7]. Selain itu *Limnocharis flava* juga dapat menurunkan kadar logam Pb, Cu, Fe, Zn, dan Hg [8][9][10] [11].Selanjutnya, *Hydrilla verticillata* mampu meremediasi logam Cu, As, Al, Zn, Ni dan Pb dalam perairan dengan akumulasi tertinggi pada bagian akar [12][13][14][15]. *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* meskipun sama-sama tanaman akuatik, akan tetapi keduanya berbeda dalam segi struktur dan tempat hidupnya.

Limnocharis flava merupakan tanaman yang tumbuh pada tempat yang lembab atau berair dengan bagian tubuhnya nampak pada permukaan. Sedangkan *Hydrilla verticillata* merupakan tanaman yang tumbuh pada perairan yang cenderung jernih dengan seluruh bagian tubuh terendam dalam air [16][17]. Perbedaan dari kedua tanaman tersebutlah yang menjadikan alasan utama dalam melakukan penelitian ini. Peneliti ingin mengetahui efektifitas kemampuan kedua tanaman tersebut dalam meremediasi polutan terutama logam berat tembaga dengan waktu pemaparan berbeda untuk kedua tanaman. Proses remediasi tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* dilakukan dengan *mengvariasi konsentrasi tembaga saat proses pemaparan*. Analisis kadar tembaga dilakukan menggunakan instrument AAS.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman hidup *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* dari Danau Ranu Grati Pasuruan, tembaga sulfat (CuSO₄.5H₂O) >98% produk Sigma-Aldrich, hidrogen peroksida (H₂O₂) 30%, dan asam nitrat (HNO₃) 70% produk Merck, aquademin.

2.2. Pengambilan Sampel

Sampel *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* diambil sebanyak ±2 Kg yang kemudian di simpan dalam wadah plastik dan ditambah dengan sedikit air. Selanjutnya selain sampel tanaman, sampel air juga diambil dengan volume 500 mL. Sampel air yang telah diambil kemudian diasamkan dengan HNO₃ hingga pH ≤ 2.

2.3. Aklimatisasi Sampel

Proses aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dalam wadah plastik berisi akuades tanpa media tanam. Aerator ditambahkan sebagai sumber oksigen untuk menjaga suplai oksigen terlarut dalam air tetap seimbang. *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* ditempatkan dekat dengan ruang terbuka agar mendapatkan persediaan cahaya yang cukup saat siang hari. Kedua tanaman yang telah diaklimatisasi tersebut kemudian dipilih dengan kriteria sebagai berikut: tanaman memiliki daun yang segar berwarna hijau yang relatif seragam [18].

2.4 Preparasi Konsentrasi Logam Berat Tembaga

Pembuatan larutan sebagai simulasi limbah yang akan digunakan sebagai larutan pemapar diawali dengan menimbang padatan tembaga sulfat sebesar 3,9 g. Selanjutnya dilarutkan dengan 1000 mL aquademin. Kemudian dari larutan tersebut dibuat larutan tembaga sebesar 1500 mL dengan konsentrasi 0, 3, 5, dan 7 mg/L.

2.5 Pemaparan Sampel dengan Logam Berat Tembaga

Tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* yang telah diaklimatisasi kemudian dipindahkan ke dalam wadah kaca. Wadah kaca yang dibutuhkan sebanyak 8 buah. Dua wadah sebagai kontrol yang masing-masing berisi aquademin dengan tanaman tanpa pemaparan larutan tembaga. Kemudian 6 wadah lainnya berisi sampel percobaan. Proses pemaparan untuk setiap konsentrasi dilakukan sebanyak dua kali. *Limnocharis flava* pemaparan logam tembaga dilakukan selama 15 hari sedangkan *Hydrilla verticillata* selama 7 hari.

2.6 Destruksi Sampel

Sampel setelah dipapar dengan logam berat tembaga kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 4 jam. Selanjutnya digerus sampai halus dan ditimbang hingga berat kering konstan. Sampel yang sudah dipreparasi selanjutnya dapat didestruksi menggunakan metode destruksi basah menggunakan *microwave digestion* dengan memasukkan sampel ke dalam *vessel* dan ditambahkan reagen 7 mL HNO₃ + 1 mL H₂O₂ 30%. Selanjutnya *vessel* ditutup, diatur suhu dan tekanan sesuai dengan metode, serta diklik tombol mulai. Setelah selesai biarkan hingga suhu turun terlebih dahulu kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman No.42.

2.7 Analisis Tembaga Menggunakan Instrumen SSA

Sampel hasil destruksi diambil dan didinginkan. Disamping itu, dibuat larutan baku standar tembaga sulfat 50 mg/L dibuat dari larutan stok Cu 100 mg/L yang dipipet sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL dan ditandabatkan menggunakan HNO₃ 0,5 M. Selanjutnya larutan standar tembaga dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4 dan 5 mg/L dibuat dengan cara mengambil 1; 2; 3; 4 dan 5 mL dari larutan baku standar tembaga sulfat. Larutan yang telah diambil tersebut kemudian dimasukkan dalam labu takar 50 mL dan ditandabatkan menggunakan HNO₃ 0,5 M. Setelah semua sampel mencapai suhu ruang, proses analisis siap dilakukan, kadar tembaga ditentukan menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) varian Spectra AA 240 dengan panjang gelombang yang digunakan adalah 324,8 nm.

2.8 Analisis Data

Konsentrasi logam tembaga total secara empiris dihitung dengan beberapa persamaan sesuai dengan jenis data yang diinginkan. Kadar logam tembaga pada *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* dalam bentuk biomassa berbeda dengan kadar tembaga dalam bentuk larutan. Untuk menghitung kadar logam tembaga dalam bentuk biomassa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1. Dimana, b adalah konsentrasi logam tembaga dalam sampel dari instrumen SSA (mg/L), v adalah volume larutan setelah destruksi (L), m adalah massa cuplikan biomassa yang didestruksi (Kg), dan FP adalah faktor pengenceran.

$$\text{Kadar logam tembaga} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = \frac{b \times V \text{ (L)} \times \text{FP}}{m \text{ (Kg)}} \quad (1)$$

Untuk melihat berapa persen logam tembaga yang teremidiasi oleh tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 [9].

$$\text{Persen tembaga teremidiasi} = \frac{[\text{Cu awal}] - [\text{Cu tersisa dalam air}]}{[\text{Cu awal}]} \times 100\% \quad (2)$$

Selanjutnya untuk mengetahui kemampuan *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* dalam mengakumulasi logam dapat dihitung nilai *Bioconcentration factor* (BCF) nya seperti yang tertulis pada Persamaan 3 [19].

$$\text{BCF} = \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{air}}} \quad (3)$$

Dimana, C_{organisme} adalah konsentrasi logam berat dalam organisme sesudah pemaparan (mg/Kg), dan C_{air} adalah konsentrasi awal logam berat dalam air (mg/L).

Nilai hitung untuk menentukan perpindahan konsentrasi logam berat dari akar menuju ke bagian lainnya (daun maupun batang) dari suatu tumbuhan dapat dihitung nilai *Translocation factor* (TF) nya menggunakan Persamaan 4.

$$\text{TF} = \frac{\text{BCF daun}}{\text{BCF batang}} \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengambilan dan Aklimatisasi Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata*. Teknik pengambilan sampel menggunakan *non probability sampling* berupa *accidental sampling* yaitu metode pengambilan sampel berdasarkan pada sampel yang ada. Pengambilan sampel dilakukan pada satu titik agar karakteristik fisik dari sampel tidak jauh berbeda antara satu dengan yang lainnya. Proses pengambilan sampel air dilakukan pada air sawah dan air danau Ranu Grati yang kemudian ditambah dengan HNO₃ pekat hingga pH dari air ≤ 2. Hal ini bertujuan untuk mengawetkan sampel yakni menjaga kelarutan logam agar tidak mengendap serta mengurangi adsorpsi sampel ke dinding wadah terhadap komponen yang dianalisis. Proses aklimatisasi dilakukan dengan skala laboratorium. Waktu yang dibutuhkan dalam proses aklimatisasi adalah 7 hari. Air yang digunakan untuk proses aklimatisasi diketahui memiliki kadar logam tembaga sebesar 0 ppm. Untuk bagian akar, batang, dan daun tanamam pada Tabel 1 menunjukkan seluruh bagian tanaman sebelum proses pemaparan telah mengandung tembaga. Meskipun demikian, tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* nampak tumbuh sehat yang ditandai dengan warna daun yang hijau segar serta terdapat pertumbuhan akar-akar baru. Salah satu faktor penentu keberhasilan proses aklimatisasi adalah dapat tumbuhnya akar-akar baru [20].

3.2 Penentuan Konsentrasi Tembaga pada Sampel Tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* setelah Pemaparan

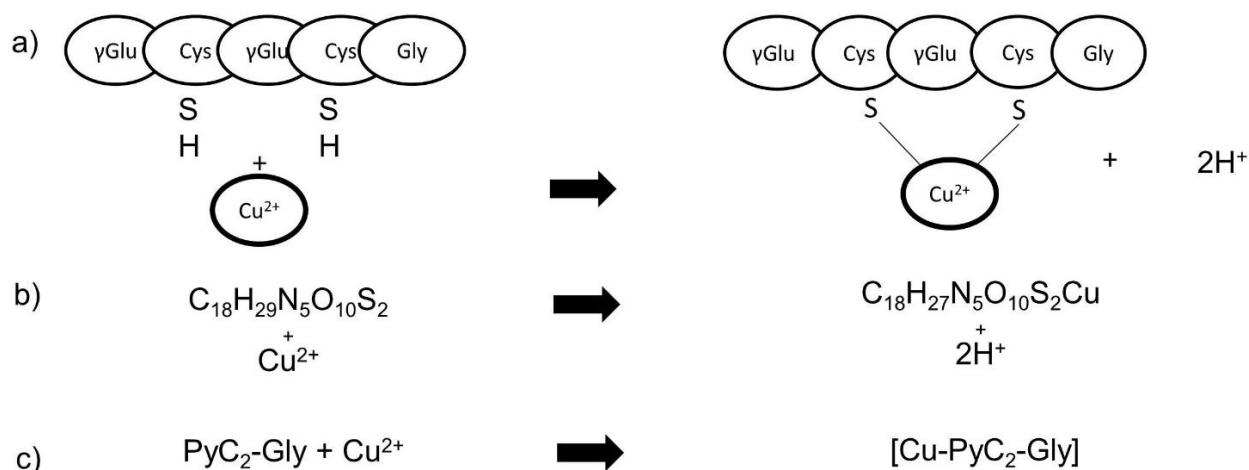
Penentuan konsentrasi tembaga pada sampel tanaman dapat dilakukan dengan cara pemaparan sampel menggunakan larutan tembaga sulfat terlebih dahulu. Pemaparan yang dilakukan menyebabkan perubahan fisik pada tanaman *Limnocharis flava*. Perubahan yang terjadi meliputi daun dan batang yang terlihat menguning. Proses remediasi pada tanaman *Limnocharis flava* dilakukan dengan waktu pemaparan dua kali lebih lama dibandingkan *Hydrilla verticillata*. Pada proses pemaparan tembaga, seluruh bagian tanaman *Hydrilla verticillata* terendam di dalam air sehingga diasumsikan sangat berpengaruh pada proses remediasi tembaga. Meskipun demikian, baik tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* yang dipapar tersebut tetap tumbuh tunas baru. Hal tersebut menunjukkan bahwa kedua tanaman tersebut mampu bertahan hidup pada air yang sudah tercemar logam dengan konsentrasi yang rendah.

Hasil analisis kadar logam tembaga menggunakan AAS pada tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* hasil destruksi ditunjukkan pada Tabel 1. Kedua tanaman menunjukkan semakin tinggi konsentrasi yang digunakan saat pemaparan, menyebabkan akumulasi logam tembaga juga semakin besar. Tanaman *Limnocharis flava* pada variasi konsentrasi 7 ppm menghasilkan konsentrasi tembaga dalam akar lebih besar dibanding daun dan batang dengan konsentrasi berurutan sebesar 460,53 ; 452,34 ; dan 437,20 mg/Kg BK. Sedangkan untuk tanaman *Hydrilla verticillata*, konsentrasi tembaga pada daun lebih tinggi dibanding pada batang dengan konsentrasi sebesar 2761,98 dan 513,77 mg/Kg BK. Pemaparan logam tembaga selama 15 hari pada tanaman *Limnocharis flava* menunjukkan akumulasi tembaga yang lebih rendah dibandingkan tanaman *Hydrilla verticillata* selama 7 hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa setiap bagian tanaman yang berinteraksi langsung saat pemaparan dengan logam seperti *Hydrilla verticillata* menghasilkan perbedaan akumulasi logam yang signifikan dibanding dengan tanaman yang hanya sebagian dari tubuhnya berinteraksi langsung dengan logam. Pernyataan tersebut sesuai dengan Venkateswarlu, dkk., [17] yang menyatakan bahwa untuk menghapus polutan, setiap tanaman memainkan peran yang penting. Kemampuan tanaman dalam meremediasi polutan bergantung pada bagian akarnya. Selain itu, kemampuan dari setiap tanaman tersebut juga ditentukan berdasarkan pada tempat dan cara hidupnya dalam air. Tumbuhan dengan kondisi tubuhnya terendam maka logam akan terkumpul dalam tubuhnya secara menyeluruh.

Tabel 1. Konsentrasi tembaga pada biomassa tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* setelah pemaparan

Konsentrasi tembaga (ppm)	Konsentrasi Tembaga (mg/Kg BK)				
	<i>Limnocharis flava</i>			<i>Hydrilla verticillata</i>	
	Akar	Batang	Daun	Batang	Daun
0	50,38	35,28	17,12	16,69	144,90
3	438,83	103,45	39,48	247,78	1593,39
5	447,69	330,54	134,76	448,31	2429,15
7	460,53	437,20	452,34	513,77	2761,98

Keterangan: BK = Berat Kering



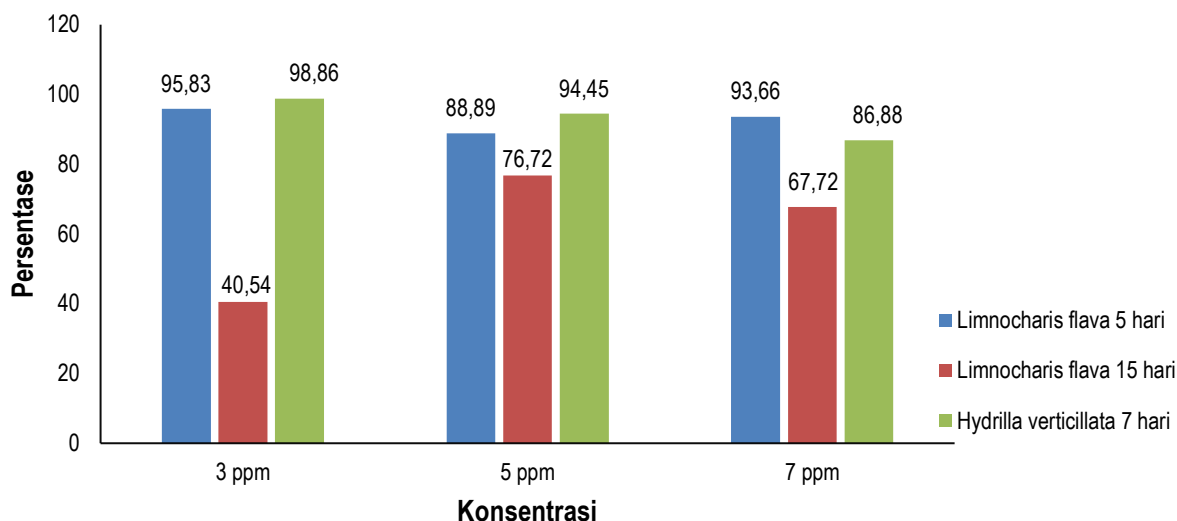
Gambar 1. Perkiraan struktur senyawa kompleks fitokelatin-tembaga. a). Fitokelatin membentuk kompleks dengan ion tembaga. b). Contoh rumus molekul pada PyCDB untuk dasar fitokelatin 2-glisin dengan dan tanpa terikat logam. c). Contoh nama dasar fitokelatin.

Semakin tinggi konsentrasi tembaga pada air maka akumulasi logam tembaga pada tanaman juga akan semakin besar. Bagian akar *Limnocharis flava* berfungsi sebagai mediator penyerapan logam berat yang selanjutnya ditransfer ke jaringan lainnya, sedangkan *Hydrilla verticillata* karena seluruh bagian tanaman terendam di dalam air menyebabkan perbedaan penyerapan logamnya. Logam tembaga diserap oleh akar dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ikut masuk bersama aliran air. Tembaga yang terlarut di dalam air membuat protein regulator dalam tanaman membentuk senyawa pengikat yang disebut fitokelatin. Fitokelatin merupakan sebuah kelator logam berat yang ditemukan pada tumbuhan, jamur dan semua kelompok alga. Fitokelatin mampu dideteksi pada jaringan tanaman apabila *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* tersebut terpapar jejak logam. Fitokelatin berfungsi sebagai detoksifikasi dengan membentuk senyawa kompleks berupa fitokelatin-logam dari berbagai macam logam salah satunya adalah tembaga [21].

Fitokelatin merupakan ligan peptida yang mengandung asam amino sistein di pusat molekul serta asam glutamat dan glisin pada ujung yang berlawanan [22][23]. Berdasarkan Gambar 1(a,b) terlihat bahwa fitokelatin ketika bertemu dengan logam seperti tembaga akan bereaksi membentuk senyawa kompleks fitokelatin-tembaga. Atom pusat pada kompleks fitokelatin-tembaga pada penelitian ini memiliki bilangan oksidasi +2 yang kemudian berikatan dengan gugus tiol. Fitokelatin tersebut akan melepas dua ion hidrogen milik gugus tiol ($-SH$) yang berasal dari sistein. Selanjutnya pada Gambar 1(c) terlihat bahwa fitokelatin yang berikatan dengan logam berat seperti tembaga awalnya memiliki rantai pendek sesuai dengan konsentrasi dari logam tersebut. Kemudian semakin tinggi konsentrasi dari logam berat yang bertemu dengan fitokelatin maka rantai peptida $(\gamma-Glu-Cys)_n$ yang membentuk senyawa fitokelatin akan bertambah panjang hingga $n=11$.

3.3 Penentuan Persen Penurunan (Termediasi) Logam Tembaga oleh Tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata*

Kemampuan tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* dalam meremediasi logam tembaga dapat diketahui dengan menghitung nilai persen teremediasinya. Persen teremediasi diukur menggunakan Persamaan 2. Terlebih dahulu dilakukan analisis kadar tembaga pada air yang digunakan saat proses pemaparan logam terhadap biomassa tanaman. Persen teremediasi logam oleh tanaman *Limnocharis flava* pada hari 15 secara maksimal terjadi pada variasi konsentrasi 5 ppm dengan nilai tembaga yang teremediasi sebesar 76,72 % dan *Hydrilla verticillata* sebesar 98,86 % pada konsentrasi 3 ppm (Gambar 2). Hal tersebut menunjukkan bahwa kedua tanaman tersebut mampu bertahan hidup dalam lingkungan yang tercemar logam tembaga serta mampu menyerapnya. Secara keseluruhan, semakin tinggi konsentrasi logam tembaga yang dipaparkan maka semakin rendah nilai persen teremediasi. Fakta ini ditunjukkan oleh Tanaman *Hydrilla verticillata* menunjukkan pola yang berbeda dimana pada pemaparan tembaga 7 ppm memiliki penurunan persen teremediasi 86,88 %.



Gambar 2. Persentase penyerapan logam tembaga oleh tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata*

Turunnya nilai persen teremediasi tersebut disebabkan oleh tanaman yang sudah jenuh terhadap ion logam. Penurunan persen teremediasi tembaga oleh kedua tanaman dapat disebabkan oleh terganggunya reaksi kimia yang terjadi pada tanaman yang menimbulkan kerusakan pada tanaman seperti gejala nekrosis dan klorosis. Untuk tanaman *Limnocharis flava* dilakukan analisis pada 5 dan 15 hari yang menunjukkan pola yang tidak teratur. Semakin pendek waktu kontak logam berat terhadap *Limnocharis flava* menunjukkan persen teremediasi logam tembaga semakin besar. Hal ini dimungkinkan karena mekanisme penyerapan *Limnocharis flava* terhadap logam tembaga yang berbeda dengan *Hydrilla verticillata*. Mekanisme penyerapan kedua tanaman tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan parameter fitoremediasi BCF dan TF.

3.4 Parameter Fitoremediasi (BCF dan TF)

Secara sederhana, BCF (*Bioconcentration factor*) merupakan perbandingan antara konsentrasi logam yang terdapat pada tanaman dengan konsentrasi logam yang terdapat pada media tumbuh yaitu air. Kemudian, TF (*Translocation factor*) adalah suatu nilai yang digunakan untuk menentukan perpindahan logam dari bagian tanaman satu ke bagian tanaman yang lain. Tumbuhan diperkirakan dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi melalui dua parameter yaitu BCF dan TF. Kadar logam tembaga dari biomassa tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* pada Tabel 1 tersebut digunakan untuk menghitung nilai BCF dan TF.

Tabel 2. Parameter *bioconcentration factor* dan *translocation factor* pada *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata*

Konsentrasi tembaga (ppm)	<i>Limnocharis flava</i>					<i>Hydrilla verticillata</i>			
	BCF			TF		BCF			TF
	Akar	Batang	Daun	Daun/Akar	Daun/Batang	Batang/Akar	Batang	Daun	Daun/Batang
3	146,28	34,48	13,16	0,09	0,38	0,24	82,59	531,13	6,43
5	89,54	66,11	26,95	0,30	0,41	0,74	89,66	485,83	5,42
7	65,79	62,46	64,62	0,98	1,03	0,95	73,40	394,57	5,38

Nilai BCF dan TF yang diperoleh pada tanaman *Limnocharis flava* yakni $BCF > 1$ dan $TF < 1$. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman *Limnocharis flava* masuk dalam kategori tanaman akumulator yang dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi dengan mekanisme penyerapan fitostabilisasi (*fitostabilizer*). Secara sederhana tanaman *Limnocharis flava* ketika menyerap logam disimpan lebih banyak di akar dengan sedikit kemungkinan mentranslokasikannya ke bagian yang lain. Sedangkan pada tanaman *Hydrilla verticillata* memiliki nilai $BCF > 1$ dan $TF > 1$ sehingga *Hydrilla verticillata* dapat dikategorikan sebagai tanaman akumulator dengan mekanisme fitoekstraksi. Mekanisme proses penyerapan polutan logam oleh tanaman *Hydrilla verticillata* dengan disimpan dalam setiap bagian tubuh tanaman. Untuk menghilangkan polutan pada tanaman tersebut dapat dilakukan dengan cara memanennya [24][25][26].

4. Kesimpulan

Semakin tinggi konsentrasi pemaparan logam tembaga yang digunakan, maka penyerapan logam (persen teremediasi) oleh tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* cenderung mengalami penurunan. Hasil analisis terhadap kemampuan tanaman dalam meremediasi logam tembaga dalam air menunjukkan bahwa tanaman *Limnocharis flava* dan *Hydrilla verticillata* mampu digunakan sebagai tanaman agen remediasi dengan masing-masing mekanisme fitostabilisasi dan fitoekstraksi. Hal tersebut didasarkan pada nilai parameter fitoremediasi yang diperoleh yaitu pada tanaman *Limnocharis flava* nilai BCF>1 dan TF<1 sedangkan pada tanaman *Hydrilla verticillata* nilai BCF>1 dan TF>1.

Daftar Pustaka

- [1] Mulyono, H. *Kamus Kimia*. Bumi Aksara. 2005. Jakarta
- [2] 'Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia tentang Baku Mutu Limbah' No 22 Tahun 2021 <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>
- [3] Firmansyah, D., Sustiyani, E., Penentuan Kadar Logam Tembaga pada Perairan dan Sedimen di Limbah Pertambangan Tradisional Desa Perabu Kabupaten Lombok Tengah, *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, Vol 7, No 1 Jan 2021, 16-19
- [4] Harahap, M.K.A., Rudiyan, S., dan Widayanti, N., Analisis Kualitas Perairan Berdasarkan Konsentrasi Logam Berat dan Indeks Pencemaran di Sungai Banjir Kanal Timur Semarang, *Jurnal Pasir Laut*, Vol 4, No 2 Sep 2020, 108-115
- [5] Tampubolon, O.F.R., Ismanto, A., Suryo, A.A.D., Muslim, Indrayanti, E., Simulasi Pola Sebaran Logam Berat Tembaga (Cu) di Perairan Kota Pekalongan, *Indonesian Journal of Oceanography*, Vol 3, no. 2, Mei, 2021,
- [6] Thuraidah, A., Puspita, E. I., dan Oktiyani, N., Pengaruh Genjer (*Limnocharis flava*) terhadap Penurunan *Biological Oxygen Demand* (BOD) Limbah Industri Karet, *Med.Lab.Tech.J.*, vol. 2, no. 1, p. 6, Juni, 2016, doi: 10.31964/mltj.v2i1.28
- [7] Nadhifah, I. I., Fajarwati, P., dan Sulistiyowati, E., Fitoremediasi dengan Wetland System menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*), Genjer (*Limnocharis flava*), dan Semanggi (*Marsilea crenata*) untuk Mengolah Air Limbah Domestik, *Al-Kaunyah J. Biol.*, vol. 12, no. 1, pp. 38–45, April, 2019, doi: 10.15408/kaunyah.v12i1.7792
- [8] Marrugo-Negrete, J., Enamorado-Montes, G., Durango-Hernández, J., Pinedo-Hernández, J., and Diez, S., Removal of Mercury from Gold Mine Effluents using *Limnocharis flava* in Constructed Wetlands, *Chemosphere*, vol. 167, pp. 188–192, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.09.130
- [9] Anning, A. K., Korsah, P. E., and Addo-Fordjour, P., Phytoremediation of Wastewater with *Limnocharis flava*, *Thalia geniculata* and *Typha latifolia* in Constructed Wetlands, *International Journal of Phytoremediation*, vol. 15, no. 5, pp. 452–464, May 2013, doi: 10.1080/15226514.2012.716098
- [10] Alikasturi, A.S., Kamil, M.Z.A.M., Shakri, N.A.A.M., Serit, M.E., Rahim, N.S.A., Shaharuddin, S., Anuar, M.R., Radzi, A.R.M., Phytoremediation of Copper in Mineral, Distilled and Surface Water Using *Limnocharis Flava* Plant, *Materials Today: Proceedings*, 19, 1489-1496, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.173>
- [11] Lam, N. T., Song, S., Dung, B.T.N., Binh, T.N., and Melaki, A., Potential Role of Combined Microbial Inoculants and Plant of *Limnocharis flava* on Eliminating Cadmium from Artificial Contaminated Soil, *Sustainability*, 14 (19), 12209, 2022, <https://doi.org/10.3390/su141912209>
- [12] Xue, P.-Y., Li, G.-S., Liu, W.-J., and Yan, C.-Z., Copper Uptake and Translocation in A Submerged Aquatic Plant *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, *Chemosphere*, vol. 81, pp. 1098–1103, 2010
- [13] Bakar, A. F. A., Yusoff, I., Fatt, N. T., Othman, F., and Ashraf, M. A., Arsenic, Zinc, and Aluminium Removal from Gold Mine Wastewater Effluents and Accumulation by Submerged Aquatic Plants (*Cabomba piauhyensis*, *Egeria densa*, and *Hydrilla verticillata*), *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International*, vol. 2013, pp. 1–7, 2013, doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/890803>
- [14] Urifah, D., Kusriani, Zakiyah, U., Handaru, B. C., dan Rieka, Y., Adsorpsi Logam Timbal (Pb) oleh Tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*), *Jurnal Riset Teknologi Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 100–108, Oct. 2017
- [15] Song, Y., Zhang, L.-L., Li, J., He, X.-J., Chen, M., and Deng, Y., High-Potential Accumulation and Tolerance in the Submerged Hydrophyte *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle for Nickel-Contaminated Water, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 161, pp. 553–562, 2018
- [16] Singh, D., Tiwari, A., and Gupta, R., Phytoremediation of Lead from Wastewater using Aquatic Plants, *Journal of Agricultural Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2012
- [17] Venkateswarlu, V., Venkatrayulu, C., and Bai, T. J. L., Phytoremediation of Heavy Metal Copper (II) from Aqueous Environment by Using Aquatic Macrophytes *Hydrilla verticillata* and *Pistia stratiotes*, *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, vol. 7, no. 4, pp. 390–393, 2019
- [18] Lestari, A., Anita, S., dan Hanifah, T. A., Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*, (L.) Buch) sebagai Fitoremediator Ion Kadmium (II), Kromium (VI) dan Timbal (II), *Kimia FMIPA-Universitas Riau*, 2015

- [19] Zayed, A., Gowthaman, S., and Terry, N., Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed, *Journal of Environmental Quality*, vol. 27, no. 3, pp. 715–721, May 1998, doi: 10.2134/jeq1998.00472425002700030032x
- [20] Febrianto, R., Suwirnen, S., dan Syamsuardi, S., Aklimatisasi Planlet Kantong Semar (*Nepenthes gracilis* Korth.) pada Berbagai Campuran Media Tanam Tanah Ultisol, *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)*, vol. 4, no. 2, pp. 96–101, Jun. 2015
- [21] Gupta, D. K., Vandenhove, H., and Inouhe, M., Role of Phytochelatins in Heavy Metal Stress and Detoxification Mechanisms in Plants, in *Heavy Metal Stress in Plants*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013
- [22] Dennis, K. K., Uppal, K., Liu, K. H., Ma, C., Liang, B., Go, Y., and Jones, D. P., Phytochelatin Database: A Resource for Phytochelatin Complexes of Nutritional and Environmental Metals, *Database*, vol. 2019, p. baz083, Jan. 2019, doi: 10.1093/database/baz083
- [23] Haryati, M., Purnomo, T., dan Kuntjoro, S., Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis flava* (L.) Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan yang Berbeda, *Lateral Bio*, 2012, vol. 1, no. 3, p. 8
- [24] Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., and Ma, L. Q., Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on A Contaminated Florida Site, *Science of The Total Environment*, vol. 368, no. 2–3, pp. 456–464, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.01.016
- [25] Mellem, J. J., Bioaccumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni with the Ability for Hyperaccumulation by *Amaranthus dubius*, *Afr. J. Agric. Res.*, vol. 7, no. 4, Jan. 2012, doi: 10.5897/AJAR11.1486
- [26] Majid, N. M., Islam, M. M., and Rauf, R. A., Evaluation of Jelutong (*Dyera cotulata*) as A Phytoremediator to Uptake Copper (Cu) from Contaminated Soils, *Australian Journal of Crop Science*, 2012, 6.2: 369-374