

**FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR TEMBAGA (Cu) OLEH TANAMAN KELADI HIAS
(*Caladium bicolor*) DAN LIDAH MERTUA (*Sansevieria trifasciata*)**

I M. Siaka*, R. A. Arandi, dan W. S. Rita

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Udayana, Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia*

**Email: made_siaka@unud.ac.id*

ABSTRAK

Logam berat Cu adalah polutan yang umum terdapat dalam tanah pertanian dan dapat mencemari tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut. Salah satu cara untuk mengurangi polutan logam berat ini adalah dengan melakukan fitoremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah tanaman keladi hias (*Caladium bicolor*) mampu menurunkan kandungan logam Cu dengan menentukan jumlah logam yang bersifat *bioavailable* dan mengetahui nilai *bioconcentration factor* (BCF) pada tanah yang tercemar logam berat tersebut. Selanjutnya, membandingkan efektivitas tanaman keladi hias dalam menyerap logam Cu dengan fitoremediator lain yaitu lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*). Metode yang digunakan adalah fitoremediasi dengan menggunakan tanaman keladi hias pada tanah yang tercemar Cu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keefektifan penyerapan logam berat Cu oleh keladi hias dan lidah mertua berturut-turut sebesar 88,80% dan 51,83%. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa tanaman keladi hias lebih efektif menyerap ion logam Cu di dalam tanah dibandingkan dengan lidah mertua. Berdasarkan nilai BCF yaitu perbandingan konsentrasi logam Cu dalam tanaman dengan logam yang bersifat *bioavailable* dalam tanah dari kedua tanaman tersebut, maka nilai BCF kedua tanaman tersebut lebih kecil dari satu (< 1), sehingga kedua tanaman tersebut berperan sebagai *metal excluder*. Ini berarti bahwa tanaman tersebut membatasi penyerapan logam berat (Cu) dari tanah ke jaringan tanaman. Nilai TF (*Translocation Factor*) dari keladi hias < 1 yang artinya tanaman tersebut cocok untuk fitostabilisasi karena tanaman ini menahan logam berat di akar dan tidak memindahkannya ke bagian batang atau daun, sedangkan nilai TF dari lidah mertua > 1 yang dikategorikan sebagai fitoremediator untuk fitoekstraksi yang artinya tanaman ini berguna untuk membersihkan lingkungan dari cemaran logam berat. Dengan demikian, berdasarkan nilai efektivitasnya, tanaman keladi hias dapat digunakan sebagai tanaman fitoremediator.

Kata kunci: fitoremediasi, logam berat, tanaman keladi hias, tanaman lidah mertua.

ABSTRACT

The heavy metal Cu is a pollutant commonly found in agricultural soil and can contaminate plants growing on that soil. Reducing heavy metal pollutants can be done by a phytoremediation technique. This study aimed to know whether ornamental taro plants (*Caladium bicolor*) can reduce Cu metal content by determining the amount of the bioavailable metal and the bioconcentration factor (BCF) value in soil contaminated with this heavy metal. Also, to compare the results with those of other phytoremediator plants, namely snake plant (*Sansevieria trifasciata*). The method used is phytoremediation using ornamental taro plants on soil contaminated with Cu. The results showed that the effectiveness of absorption of the heavy metal Cu by ornamental taro and snake plants was 88.80% and 51.83%, respectively. From these data, it can be seen that ornamental taro plants are more effective at absorbing Cu metal ions in the soil compared to snake plants. Based on the BCF value, namely the ratio of the Cu metal concentration in the plant to the bioavailable metal in the soil of the two plants, the BCF value of the two plants is less than one (< 1), so the two plants act as metal excluders. This means that the plant limits the absorption of heavy metals (Cu) from the soil into the plant tissue. The TF (*Translocation Factor*) value of ornamental taro was < 1 , which means the plant is suitable for phytostabilization because this plant retains heavy metals in the roots and does not transfer them to the stem or leaves, while the TF value of snake plant was > 1 , which is categorized as a phytoremediator for phytoextraction, which means this plant is useful for cleaning the environment from heavy metal contamination. Thus, based on its effectiveness value, ornamental taro plants can be used as phytoremediators.

Keywords: *Caladium bicolor*, heavy metals, phytoremediation, *sansevieria trifasciata*.

PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu sumber daya alam yang masih dimanfaatkan manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Salah satu kegiatan manusia yang memerlukan tanah sebagai sumber utama dalam aktivitasnya adalah pertanian. Tentu saja tanah pertanian tidak boleh tercemar oleh apapun, karena tanah pertanian kelak akan digunakan untuk menanam segala jenis tumbuhan yang menjadi bahan pangan untuk dikonsumsi. Pencemaran tanah sendiri dapat terjadi oleh kontaminasi bahan kimia seperti, penggunaan pestisida, pupuk anorganik dan logam berat. Logam berat secara alamiah ditemukan pada batuan atau mineral lainnya, maupun oleh kegiatan manusia, seperti penggunaan pestisida, pupuk anorganik, peternakan, dan kompos. Hal ini tentunya tidak baik untuk kesehatan tanah dan tanaman yang tumbuh pada tanah tercemar logam berat berlebihan. Berbagai sumber pencemaran logam berasal dari kegiatan pertanian dan non pertanian. Bahan-bahan tersebut terdapat sebagai unsur ikutan (*impurities*) dalam pupuk anorganik, limbah cair (*sewage sludge*), peternakan, pestisida, serta kompos (Mulyadi, 2013). Tanah pertanian merupakan tempat budidaya tanaman yang tidak terhindar dari pencemar, baik pencemar secara alami maupun aktivitas manusia. Maka kelestarian tanah perlu dijaga agar selalu dapat menjalankan fungsinya dengan baik yaitu dengan mendegradasi pencemar tersebut melalui metode pengendalian yang efektif (Amalia, 2020), sehingga diperlukan suatu tindakan untuk memulihkan kesehatan tanah dari logam berat berlebih yaitu bioremediasi.

Bioremediasi merupakan metode remediasi tanah menggunakan makhluk hidup yang bertujuan untuk mendegradasi zat pencemar menjadi tak beracun. Salah satu metode bioremediasi adalah fitoremediasi. Fitoremediasi adalah metode remediasi menggunakan tanaman, adapun syarat tanaman agar bisa melakukan fitoremediasi, antara lain tumbuh dengan cepat, berakar banyak, memiliki daun lebar, banyak menyerap air, dan resisten terhadap lingkungan yang toksik. Ada beberapa tanaman yang telah dilaporkan dalam meremediasi tanah tercemar logam berat yaitu: jagung, kangkung, sawi, terong, tomat, cabai, dan, bayam (Rahmansyah *et al*, 2009). Walaupun tanaman-tanaman tersebut memiliki

kemampuan yang cukup bagus dalam menyerap logam berat, tetapi tidak direkomendasikan sebagai fitoremediator karena tanaman tersebut menghasilkan bahan pangan. Kandungan logam berat pada hasil panen seperti buah dan sayuran akan menjadi bahan baku produksi pangan sehingga berbahaya bagi manusia yang mengkonsumsinya. Seperti yang dilaporkan oleh beberapa peneliti bahwa tanaman yang mengandung logam berat akan berbahaya jika dikonsumsi oleh manusia (Oliver & Gregory, 2015). Dengan demikian, pemilihan tanaman sebagai fitoremeditor adalah tanaman yang tidak digunakan untuk produksi bahan pangan. Tanaman hias atau tanaman liar yang dibudidayakan merupakan pilihan yang tepat untuk digunakan sebagai fitoremediator. Beberapa tanaman yang telah dilaporkan sebagai fitoremediator dan memiliki kemampuan menyerap logam berat dari tanah tercemar antara lain: tanaman Lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) untuk remediasi tanah tercemar Pb, Cu, dan Cd (Pratama, 2018; Setyawan, 2018), tanaman hanjuang (*Cordyline fruticosa*) sebagai fitoremediator pada tanah yang tercemar logam Cd (Sari, *et al.*, 2019), tanaman gumitir (*Tagetes erecta L.*) (Sahara, 2022) dan pacar air (*Impatiens balsamina L*) juga dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediator.

Berdasarkan laporan tersebut, peneliti terinspirasi untuk menggunakan tanaman hias lain seperti tanaman keladi hias (*Caladium bicolor*) dimanfaatkan sebagai fitoremediator tanah tercemar logam berat. Pemilihan tanaman ini karena keladi hias selain mudah diperoleh, memiliki akar banyak, batang berair, berdaun lebar dan cepat tumbuh besar, sehingga diharapkan mampu menyerap logam berat dari tanah sebanyak mungkin (sesuai dengan syarat tanaman untuk remediasi). Perlu diketahui bahwa tingkat keberhasilan proses fitoremediasi dipengaruhi oleh tingkat kesuburan tanah, bahan organik, pH, media tumbuh dan ketersediaan mikroba tanah untuk peningkatan efisiensi dalam pendegradasian bahan polutan (Surtikanti, 2011).

Pada penelitian ini, tanaman keladi hias yang digunakan sebagai fitoremediator untuk meremediasi tanah tercemar logam Cu dan efektivitas penyerapannya dibandingkan dengan efektivitas penyerapan Cu oleh tanaman lidah mertua. Hal ini dilakukan karena efektivitas lidah mertua dalam menyerap logam Cu sangat bervariasi bergantung pada tingkat

cemaran Cu dalam tanah yaitu semakin besar konsentrasi cemaran Cu, semakin rendah efektivitasnya (1000 – 400 ppm) memiliki efektivitas (30,3-38,7%), namun pada cemaran 200 ppm, efektivitasnya 35,4% (Setyawan, 2018). Selain efektivitas penyerapan, nilai biokonsentrasi (BCF) dan translokasi (TF) juga ditentukan untuk mengetahui apakah keladi hias dapat digunakan sebagai fitoremediator untuk tanah tercemar logam Cu.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi akuades, HNO₃, CuSO₄.5H₂O, HCl, H₂O₂, CH₃COOH 0,1 M, tanaman keladi hias, tanaman lidah mertua, tanah pertanian, dan kertas saring.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari neraca analitik, labu ukur, gelas ukur, gelas Beaker, Erlenmeyer, *polybag*, oven, ayakan 200 mesh, *ultrasonic bath*, thermometer, penggojog listrik (*Shaker*), pemanas listrik (*hot plate*), dan Spektrofotometer Serapan Atom Shimadzu AA-7000.

Cara Kerja

Rancangan dan Perlakuan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian secara eksperimental, observasi *pre* dan *post* dengan lama waktu 60 hari proses fitoremediasi, pengulangan sebanyak 3 kali untuk setiap perlakuan. Sampel tanah pertanian yang diambil dari Desa Punggul, Badung dimasukkan ke dalam 12 buah *polybag* dan setiap *polybag* diisi tanah sebanyak 5 kg. Selanjutnya, 9 tanah dalam *polybag* ditambah garam CuSO₄.5H₂O dicampur secara homogen untuk membuat tanah dalam kategori tercemar logam Cu dengan konsentrasi Cu tambahan sebesar ±200 mg/kg setiap tanah dalam *polybag*. Tanah dengan tambahan logam Cu diberi kode sampel T₁, T₂, dan T₃, sementara 3 buah *polybag* tanpa penambahan logam Cu disebut tanah kontrol dan diberi kode T₀. Setelah didiamkan selama satu minggu, setiap tanah disampling untuk penentuan konsentrasi Cu yang terkandung dalam tanah sebelum penanaman keladi hias dan lidah mertua.

Perlakuan Sampel Tanah

Tanah kontrol dan tanah yang ditambah logam Cu diambil sebagai sampel (*sampling I*) masing-masing sebanyak 50 g untuk penentuan konsentrasi Cu sebelum penanaman. Selanjutnya, dilakukan penanaman keladi hias pada kode T₁, lidah mertua pada kode T₂, dan kombinasi dari keladi hias dan lidah mertua pada kode T₃. *Sampling ke dua* dilakukan pada saat panen fitoremediator (pada saat panen yaitu 60 hari).

Penanaman dan Penyiraman

Pada penelitian ini, total tanaman yang dipergunakan sebanyak 1 tanaman dengan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali sehingga jumlah tanaman yang digunakan sebanyak 12 tanaman. Masing-masing *polybag* disirami air setiap 2 kali sehari kecuali *polybag* dengan kode T₂ karena lidah mertua hanya perlu disiram sebanyak 2 hari sekali.

Preparasi Sampel Tanah

Sebanyak 50 g sampel tanah (tanah kontrol dan tanah dengan tambahan Cu dari masing-masing *polybag* sebelum penanaman dan setelah panen fitoremediator) diambil dengan sendok polietilen yang bersih. Selanjutnya, semua sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C hingga massanya konstan (Siaka *et al.*, 2014). Sampel kemudian digerus dan dilakukan pengayakan dengan ayakan 200 mesh. Serbuk sampel disimpan dalam plastik kering untuk dianalisis lebih lanjut.

Preparasi Sampel Tanaman

Sampel tanaman (keladi hias dan lidah mertua) yang telah ditanam selama 60 hari diambil dan dipisahkan dari tanahnya lalu dibersihkan dengan air yang mengalir, lalu dibilas dengan akuades. Selanjutnya, dipisahkan bagian akar, batang dan daunnya. Tahap berikutnya dilakukan pengeringan sampel pada oven dengan suhu 60 °C hingga massanya konstan (Siaka *et al.*, 2014), setelah itu sampel digerus dan disimpan dalam plastik kering untuk dianalisis lebih lanjut.

Penentuan Kadar Logam Cu *Bioavailable* Dalam Tanah

Sampel tanah kontrol dan tercemar sebelum dan saat panen lidah mertua ditimbang teliti sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke tabung ekstraksi. Sampel kemudian ditambahkan 40 mL CH₃COOH 0,1 mol/L dan

digojog selama 2 jam dengan penggojog listrik (shaker). Larutan disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm. Supernatan yang diperoleh didekantasi dan dimasukkan ke labu ukur 50 mL, lalu diencerkan sampai tanda batas dengan HNO₃ 0,01 mol/ L dan dikocok hingga homogen. Larutan ini diukur dengan menggunakan alat AAS pada panjang gelombang 324,8 nm untuk menentukan konsentrasi Cu yang *bioavailable*. Residu yang didapat didigesti untuk penentuan logam Cu selain *bioavailable*.

Penentuan Kadar Logam Cu Selain *Bioavailable* Dalam Tanah

Residu fraksi sebelumnya dicuci dengan 10 mL aquades, lalu ditambah 10 mL campuran HNO₃- HCl (3:1). Campuran tersebut didigesti dalam *ultrasonic bath* pada suhu 60 °C selama 45 menit dan dilanjutkan pemanasan pada *hotplate* selama 45 menit pada suhu 140 °C (Siaka et al, 1998). Campuran selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Supernatan kemudian didekantasi dan dimasukkan ke labu ukur 50 mL. Hasil dekantasi diencerkan sampai tanda batas dengan aquades. Larutan diukur dengan menggunakan AAS pada panjang gelombang 324,8 nm untuk Cu dan 357,9 untuk Cr.

Penentuan Kadar Logam Cu Pada Sampel Tanaman

Masing-masing serbuk sampel tanaman keladi hias dan lidah mertua (akar, batang, dan daun) ditimbang teliti sebanyak 0,5 g lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker 100 mL dan ditambahkan 5 mL larutan HNO₃ 65% serta ditutup menggunakan kaca arloji. Campuran kemudian dipanaskan pada *hotplate* selama 90 menit pada suhu 80 °C-90 °C, lalu pemanasan dinaikkan menjadi 150°C. Larutan setelah itu ditambahkan HNO₃ dan H₂O₂ 30% masing-masing 6-10 mL sampai campuran mendidih dan larutan bening (Siaka et al., 2016). Larutan bening kemudian disaring, filtratnya ditampung dalam labu ukur 5 mL dan diencerkan sampai tanda batas dengan aquades. Larutan ini diukur dengan alat AAS pada panjang gelombang 324,8 nm untuk penentuan konsentrasi Cu selain *bioavailable*.

Efektivitas Penyerapan Logam Cu

Efektivitas penyerapan (EP) logam Cu pada tanaman didasarkan pada konsentrasi

logam tersebut yang berada di tanaman (akar, batang, dan daun) serta konsentrasi logam Cu dalam tanah sebelum ditanami tanaman (Sari et al., 2019).

$$EP = \frac{\text{Konsentrasi logam pada tanaman}}{\text{Konsentrasi logam bioavailable pada tanah (awal)}} \times 100\%$$

Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Faktor Biokonsentrasi (BCF) adalah rasio antara konsentrasi logam dalam tanaman dengan konsentrasi logam dalam lingkungan, sehingga dapat dikatakan bahwa nilai BCF merupakan penentu kemampuan penyerapan logam berat oleh tanaman dari dalam tanah dan mengakumulasi di seluruh bagian tanaman (Santana et al., 2018).

$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi logam pada tanaman}}{\text{Konsentrasi logam bioavailable pada tanah (awal)}}$$

Faktor Translokasi (TF)

Analisis faktor translokasi bertujuan untuk menentukan proses perpindahan logam Cu dari bagian akar menuju bagian daun (tajuk) dan ke bagian-bagian tanaman lainnya. TF digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik tanaman dapat memindahkan logam dari akar ke bagian atasnya. Nilai faktor translokasi mempunyai kategori sebagai berikut: Jika nilai TF > 1, disebut fitoekstraksi, jika TF < 1, disebut fitostabilisasi (Santana et al., 2018).

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi logam pada daun}}{\text{Konsentrasi logam pada akar}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Kalibrasi Standar Cu

Penentuan konsentrasi logam Cu pada sampel tanah dan tanaman dilakukan dengan metode kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi larutan Cu didapatkan dengan memplotkan antara absorbansi dan konsentrasi yang menghasilkan persamaan regresi liniernya. Persamaan inilah yang digunakan untuk menentukan konsentrasi Cu pada sampel. Pada penelitian ini diperoleh persamaan regresi liniernya yaitu, $y = 0,1007x + 0,0156$ dengan nilai koefisien regresi (R²) sebesar 0,9982.

Konsentrasi Cu dalam Tanah

Penentuan konsentrasi logam Cu yang diperoleh pada sampel tanah dibedakan menjadi

dua spesies, yakni logam yang bersifat *bioavailable* dan selain *bioavailable* (logam yang berpotensi *bioavailable* dan *non bioavailable*). Penentuan ini bertujuan untuk menambah informasi spesies kimia dari logam tersebut berdasarkan jenis ikatan dan ketersediaannya di dalam tanah. Konsentrasi logam Cu yang bersifat *bioavailable* dan selain *bioavailable* pada tanah sebelum ditambah logam Cu berturut-turut sebesar $60, 2532 \pm 1,7768$ mg/kg dan $28,5750 \pm 1,5204$ mg/kg. Hasil perhitungan penentuan kadar logam Cu pada sampel tanah disajikan pada Tabel 1.

Logam *bioavailable* ini bersifat labil dan mudah terionisasi, mudah larut dalam asam lemah atau air, dan biasanya berbentuk sebagai senyawa karbonat atau ion. Penentuan spesies ini dilakukan dengan menggunakan reagen asam asetat (CH_3COOH) dalam mengekstraksi logam-logam berat yang terikat pada karbonat yang dapat mudah larut tanpa merusak spesies lain dalam tanah. Pada Tabel 1 terlihat bahwa, konsentrasi logam Cu yang bersifat *bioavailable* pada tanah dengan fitoremediator baik tunggal maupun kombinasi mengalami penurunan konsentrasinya. Hal ini terjadi karena logam Cu pada spesies ini memiliki ikatan yang sangat lemah dengan komponen-komponen tanah, sehingga logam ini mudah terlepas dengan tingkat mobilitas yang tinggi. Tingginya kelarutan dan mobilitas dari logam *bioavailable* ini mempermudah proses penyerapan oleh tanaman dan mengakumulasi dalam bagian-bagian tanaman (Setiawan *et al.*, 2023). Akan tetapi,

pada tanah kontrol, konsentrasi logam Cu yang bersifat *bioavailable* mengalami penurunan hanya sebagian kecil, namun konsentrasi Cu selain *bioavailable* mengalami peningkatan yang hampir sama dengan Cu *bioavailable* yang berkurang, sehingga konsentrasi Cu total hampir tidak berubah. Hal ini terjadi karena tidak ada tanaman dalam tanah T_0 tersebut.

Logam-logam yang bersifat selain *bioavailable* diperoleh dengan melakukan digesti basah menggunakan larutan *reverse aquaregia* ($\text{HNO}_3:\text{HCl}$) dengan perbandingan 3:1. HNO_3 dalam campuran ini berfungsi sebagai oksidator dan mempertahankan logam dalam bentuk ion, sedangkan HCl berfungsi mengubah logam menjadi senyawa klorida kemudian menjadi senyawa kompleks anion yang stabil (Asmorowati *et al.*, 2020). Konsentrasi logam Cu selain *bioavailable* dalam tanah tidak mengalami pengurangan. Hal ini dikarenakan logam Cu yang berpindah hanyalah logam yang bersifat *bioavailable*. Logam berpotensi *bioavailable* juga dapat menjadi *bioavailable* akibat eksudat-eksudat berupa asam yang terdapat pada akar tanaman yang dapat mengubah pH rhizosfer sehingga meningkatkan kelarutan logam tersebut dan menyebabkan logam menjadi *available* (Juhriah dan Mir, 2016). Akan tetapi, logam pada fraksi resisten tidak mungkin dapat berubah menjadi bersifat *available* dalam tanah atau tidak dapat tersedia dan tidak akan berpindah ke bagian tanaman (Siaka *et al.*, 2021).

Tabel 1. Konsentrasi Logam Cu dalam Tanah Sebelum Penanaman dan Sesudah Panen Fitoremediator

Kode sampel	Sebelum Penanaman			Sesudah Panen		
	B (mg/kg)	SB (mg/kg)	Total (mg/kg)	B (mg/kg)	SB (mg/kg)	Total (mg/kg)
T_0	$269,1658 \pm 2,5630$	$30,7597 \pm 8,6534$	299,9255	$265,2554 \pm 5,6737$	$34,7696 \pm 3,2946$	299,0250
T_1	$270,2652 \pm 4,2456$	$30,4326 \pm 8,5432$	300,6978	$57,8794 \pm 3,7132$	$30,4326 \pm 1,3019$	88,3120
T_2	$268,9743 \pm 3,5674$	$30,3982 \pm 9,8548$	299,3725	$114,8348 \pm 6,9738$	$30,3982 \pm 1,2055$	145,2330
T_3	$269,7786 \pm 6,6433$	$29,3463 \pm 9,6755$	299,1249	$35,6231 \pm 1,7030$	$29,3463 \pm 5,9130$	64,9694

Keterangan : B= *Bioavailable*, SB= Selain *Bioavailable*, T_0 = Tanah kontrol tanpa tanaman, T_1 = Tanah hanya ditanami keladi hias, T_2 = Tanah hanya ditanami lidah mertua, T_3 = Tanah ditanami keladi hias dan lidah mertua. Semua tanah perlakuan telah ditambah logam Cu.

Pada Tabel 1, terlihat bahwa penurunan konsentrasi Cu dalam tanah paling besar terjadi pada perlakuan T₃ yaitu tanah dengan tanaman keladi hias dan lidah mertua. Hal ini terjadi karena kemampuan tanaman dalam menyerap Cu saling menguatkan. Akan tetapi, penurunan ini tidak sama dengan jumlah penurunan Cu dari kedua tanaman yang ditanam terpisah (T₁ dan T₂) dan bahkan tidak seluruh Cu *bioavailable* terserap. Hal ini bisa terjadi karena sifat kedua tanaman yang bertolak belakang yaitu keladi hias memerlukan banyak air untuk pertumbuhan, sedangkan lidah mertua tidak, sehingga pada saat kedua tanaman tersebut tumbuh dalam satu wadah, terjadi kompetisi saat menyerap logam Cu. Akibatnya, baik keladi hias maupun lidah mertua tidak bisa menyerap Cu secara maksimal.

Konsentrasi Cu pada Tanaman

Tanaman keladi hias dan lidah mertua yang dipakai pada penelitian ini berumur 6 bulan sebelum digunakan sebagai fitoremediator. Persentase kandungan Cu di bagian-bagian tanaman dihitung dengan membandingkan konsentrasi Cu di masing-masing bagian dengan kandungan Cu total dalam tanaman dikalikan 100%. Persentase ini dapat menunjukkan kemampuan distribusi dan akumulasi logam pada bagian akar, batang dan daun untuk keladi hias, sedangkan akar dan daun untuk lidah mertua. Kandungan Cu pada tanaman setelah 60 hari serta persentasenya disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Kandungan logam berat Cu dalam seluruh bagian tanaman keladi hias sangat besar yaitu

239,9752 mg/kg (Tabel 2) dan bahkan melebihi dari kandungan Cu yang berkurang selama proses fitoremediasi yaitu 212,3858 mg/kg (Tabel 1), namun tidak melebihi kadar Cu yang *bioavailable* dalam tanah sebelum penanaman yaitu 270,2652 mg/kg (T₁ pada Tabel 1). Ini berarti bahwa keladi hias mempunyai kemampuan menyerap Cu sangat besar dan jauh lebih besar dibandingkan dengan kemampuan lidah mertua yang dapat mengakumulasi logam Cu sebesar 139,4267 mg/kg (Tabel 1). Hal yang sama juga terlihat pada Tabel 3, bahwa kandungan logam Cu dalam keladi hias jauh lebih banyak dibandingkan dalam tanaman lidah mertua. Hal ini menunjukkan bahwa, keladi hias mempunyai kemampuan menyerap Cu lebih besar dibanding lidah mertua baik ditanam secara terpisah maupun digabung dalam satu wadah. Oleh sebab itu maka perlu dibandingkan efektivitas kedua tanaman tersebut dalam menyerap Cu agar bisa ditentukan apakah keladi hias dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediator tanah tercemar logam Cu.

Perbandingan kemampuan mengakumulasi Cu oleh tanaman keladi hias dan lidah mertua adalah 5:3 untuk penanaman secara terpisah dan 2:1 untuk penanaman secara bergabung (dalam 1 *polybag*). Dari perbandingan tersebut dapat direkomendasikan bahwa tanaman keladi hias dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediator untuk tanah tercemar logam Cu yang mempunyai kemampuan menyerap dan mengakumulasi Cu lebih baik dari tanaman lidah mertua,

Tabel 2. Kandungan Logam Cu Pada Keladi Hias (T₁) dan Lidah Mertua (T₂) (Terpisah)

Tanaman	Konsentrasi (mg/kg)			
	Akar	Batang	Daun	Total
Keladi Hias	130,5038 ± 4,1715 (54,38%)	40,0338 ± 1,6385 (16,68%)	69,4376 ± 0,6307 (28,93%)	239,9752
Lidah Mertua	60,1552 ± 7,2115 (43,14%)	-	79,2714 ± 1,9181 (56,86%)	139,4267

Tabel 3. Kandungan Logam Cu Pada Keladi Hias dan Lidah Mertua (T₃) (Tercampur)

Tanaman	Konsentrasi (mg/kg)			
	Akar	Batang	Daun	Total
Keladi Hias	85,7332 ± 3,5769 (50,13%)	38,3979 ± 1,6883 (22,45%)	46,8623 ± 3,6321 (27,42%)	170,9934
Lidah Mertua	24,0152 ± 3,7133 (30,98%)	-	53,5088 ± 4,0465 (69,02%)	77,5240

Pada Tabel 2 dan 3 terlihat bahwa akumulasi logam Cu terbesar pada tanaman keladi hias dengan persentase tertinggi terdapat pada bagian akarnya, karena bagian akar mengalami kontak langsung dengan tanah. Jaringan akar yang berinteraksi langsung dengan tanah tercemar logam berat memiliki kandungan logam berat tersebut paling tinggi dibandingkan bagian-bagian lainnya. Disamping itu, menumpuknya logam Cu di akar tanaman disebabkan karena jumlah zat khelat yang lebih banyak terdapat pada akar (Widyasari, 2021), sehingga sebagian besar logam Cu terkelat pada akar keladi hias dan sebagian kecil tertranslokasi ke bagian-bagian lainnya. Zat khelat itu sendiri merupakan senyawa sintetik yang banyak digunakan dalam sistem tanam khususnya hortikultura untuk memperbaiki defisiensi unsur hara mikro atau untuk meningkatkan konsentrasi unsur hara mikro dalam jaringan tanaman.

Berbeda dengan keladi hias, tanaman lidah mertua jurstru mengakumulasi logam Cu terbanyak pada bagian daun. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya reaksi fitokelatin. Logam berat yang terserap dalam akar tanaman akan menghasilkan protein regulator di dalam akar sebagai senyawa pengikat (kelat) yang disebut dengan fitokelatin. Logam berat seperti Cu dapat berikatan dengan enzim Gamma-glutamylcysteinyl dipeptidyl transpeptidase (PC synthase) yang memicu konversi glutation menjadi fitokelatin (Handayanto *et al.*, 2017). Fitokelatin akan memacu terbentuknya senyawa kompleks dan berpindahnya logam dari akar ke bagian lainnya dari tanaman. Unsur logam membentuk ikatan sulfida dan membentuk senyawa kompleks, sehingga logam dapat lebih mudah terserap pada akar dan kemudian ditranslokasikan ke bagian tanaman lainnya melalui jaringan xylem. Logam berat dapat berikatan dengan fitokelatin akibat ikatan kovalen koordinasi antara gugus sulfhidril (-SH) dengan logam berat. Proses ini melibatkan pertukaran ion logam berat dengan ion hidrogen pada gugus sulfhidril. Adanya fitokelatin juga

dapat melindungi tanaman dari cekaman logam berat di lingkungannya, sehingga tidak mengganggu proses pertumbuhan tanaman tersebut (Kilikily *et al.*, 2020).

Efektivitas Penyerapan Logam Cu, BCF dan TF dari Tanaman Fitoremediator

Efektivitas penyerapan logam Cu oleh tanaman keladi hias dan lidah mertua, nilai faktor biokonsentrasi (BCF) dan faktor translokasinya disajikan pada Tabel 4.

Efektivitas penyerapan logam Cu oleh tanaman

Tabel 4 menunjukkan bahwa keladi hias jauh lebih efektif dalam penyerapan logam Cu dibandingkan dengan lidah mertua yaitu 88,80% berbanding 51,83%. Perbedaan ini terjadi karena sifat akumulator tumbuhan berbeda, ada juga faktor yang berperan terhadap penyerapan logam Cu terhadap tanaman yakni iklim, kesuburan tanah, kesehatan tanaman, dan lamanya waktu perlakuan (Mutmainnah *et al.*, 2015). Menurut Setyawan (2018), efektivitas penyerapan logam Cu oleh lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) bergantung pada kandungan cemaran Cu sebelum diremediasi. Pernyataan ini dijabarkan sebagai berikut: efektivitas penyerapan Cu oleh lidah mertua pada tanah tercemar dengan kandungan 1000, 800, 600, 400, dan 200 ppm berturut-turut 30,3; 33,4; 38,7; dan 35,4%. Hasil tersebut didapatkan setelah pemanenan yang dilakukan saat minggu ke-35. Laporan ini menunjukkan bahwa efektivitas penyerapan Cu oleh tanaman lidah mertua jauh lebih rendah dibandingkan dengan efektivitas penyerapan Cu oleh tanaman keladi hias pada penelitian ini. Rompegading (2021) juga melaporkan bahwa tanaman lidah mertua tidak terlalu efektif untuk meremediasi logam berat Cu. Dengan demikian, tanaman keladi hias dapat digunakan sebagai fitoremediator pada tanah tercemar Cu ditinjau dari efektivitasnya dalam menyerap Cu hingga 88,8% (< 50%).

Tabel 4. Efektivitas Penyerapan Cu, Nilai BCF dan TF dalam Tanaman

Tanaman	%EP	BCF	TF
Keladi Hias	88,80	0,5183	0,5378
Lidah Mertua	51,83	0,8857	1,5775

Faktor biokonsentrasi (BCF) dan faktor translokasi (TF)

Penentuan faktor biokonsentrasi bertujuan untuk mengetahui potensi keladi hias dan tanaman lidah mertua dalam menyerap ion logam Cu, dimana nilai ini merupakan perbandingan konsentrasi logam pada seluruh bagian tanaman dengan konsentrasi logam yang bersifat *bioavailable* dalam tanah sebelum penanaman. Pada Tabel 4 terlihat bahwa nilai BCF pada kedua tanaman <1 sehingga kedua tanaman berperan sebagai *metal excluder*, yaitu dapat mencegah logam memasuki tanaman bagian atas (jaringan internalnya) secara efektif, namun konsentrasinya masih tinggi pada bagian akar (Santana *et al.*, 2018).

Nilai TF digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik tanaman dapat memindahkan logam berat dari akar ke bagian atasnya. Pada Tabel 4 terlihat bahwa nilai TF dari keladi hias kurang dari satu (TF<1), yaitu dikategorikan sebagai fitoremediator untuk fitostabilisasi. Fitostabilisasi memiliki implikasi bahwa tanaman tersebut berguna untuk menahan atau mengunci logam berat di dalam akardan mencegahnya menyebar lebih jauh melalui tanah atau air tanah. Ini berarti bahwa tanaman keladi hias mampu mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tubuh tanaman, yaitu polutan yang sebelumnya berbahaya menjadi tidak berbahaya. Akan tetapi, nilai TF untuk lidah mertua lebih besar dari 1 (TF >1) dan dikategorikan sebagai fitoremediator untuk fitoekstraksi yaitu tanaman mampu mentranslokasikan logam berat dari akar ke bagian atasnya dengan efisiensi tinggi. Dengan demikian, tanaman ini sangat berguna dalam membersihkan lingkungan karena logam berat yang terserap dari tanah dipindahkan ke bagian atasnya, sehingga tanaman bisa dipanen dan dibuang untuk menghilangkan kontaminan dari lokasi tercemar. Berdasarkan nilai TF kedua tanaman ini, maka tanaman lidah mertua dapat dimanfaatkan untuk menghilangkan cemaran Cu dari tanah tercemar, sedangkan tanaman keladi hias dapat digunakan untuk menetralkan sifat toksik dari logam berat akibat adanya fitokelatin dalam akar, sehingga ion logam menjadi senyawa kelat atau kompleks yang stabil.

SIMPULAN

Tanaman keladi hias dan lidah mertua mampu menurunkan kandungan logam berat Cu dalam tanah dari 300,6978 mg/kg menjadi 88,3120 mg/kg untuk keladi hias dan 299,3725 mg/kg menjadi 145,2330 mg/kg untuk lidah mertua. Efektivitas penyerapan Cu oleh keladi hias sebesar 88,80% sedangkan efektivitas penyerapan Cu oleh tanaman lidah mertua adalah 51,83%. Nilai BCF pada kedua tanaman <1 sehingga kedua tanaman berperan sebagai *metal excluder*. Nilai TF untuk keladi hias <1 yang artinya berperan sebagai fitostabilisasi sedangkan untuk tanaman lidah mertua >1 yang berperan sebagai fitoekstraksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, D. 2020. Alumni Geografi FMIPA. Tersedia pada URI. <https://www.studiobelajar.com/pencemaran-lingkungan/> (diakses pada Sabtu, 20 November 2022 pukul 20.00 wita).
- Asmorowati, D. S., Sumarti, S. S., & Kristanti, I. 2020. Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Destruksi Kering untuk Analisis Timbal dalam Tanah di Sekitar Laboratorium Kimia FMIPA UNNES. Semarang: *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(3) : 169–173.
- Handayanto, Eko. 2017. *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. Universitas Brawijaya Press. Malang.
- Juhriah, J., dan Alam, M. 2016. Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) pada Tanah Dengan Tanaman *Celosia plumosa* (Voss) Burv. Bioma: *Jurnal Biologi Makassar*. 1(1): 1-8.
- Kilikily, D., Mariwy, A., dan Sunarti, S. 2020. Studi Akumulasi Logam Berat Merkuri (Hg) Oleh Tanaman Trembesi (*Samanea saman*). *Science Map Journal*. 2(2): 85-89.
- Mulyadi. 2013. Logam Berat Pb pada Tanah Sawah dan Gabah di Sub-DAS Juana Jawa Tengah. *Agrologia*, 2(2): 95-101.
- Mutmainnah, F., Arinafril., dan Suheryanto. 2015. Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) dengan Menggunakan *Hydrilla verticillata* dan *Najas indica*. *Jurnal Penelitian Sains*. 17(3): 112-120.

- Oliver, M. A. & P. J. Gregory. 2015. Soil food security and human health: a review. *European Journal of Soil Science*. 66(2): 257-276.
- Pratama, R. Z. 2018. Fitoremediasi [Geneca Environmental Service]. *Tersedia pada URL: <https://www.gesi.co.id/fitoremediasi/>*. Diakses pada 20 Desember 2022.
- Rahmansyah, M., Hidayati, N., dan Juhaeti, T., 2009. Tanaman Akumulator untuk Fitoremediasi Lingkungan Tercemar Merkuri dan Sianida Penambangan Emas. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Press, Jakarta. 14-16.
- Rompegading, A. B., Sartika, D., Sengka, R., Syamsuddin, N., Resky, A. W., Resky, M., Rahmat, M. F., Lestari, A., Rosdiana, Asriana, Fadryansah, M., Arifuddin, A., Afdal, M., dan Irfandi, R. 2021. Pengujian Awal Potensi Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata*) dalam Pemanfaatannya sebagai Fitoremediasi Terhadap Tanah yang Tercemar Logam Cu. *Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*. 4(2): 251-257.
- Sari, N. E. P., Nurlela, Wardoyo, S. E. 2019. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Cd dengan menggunakan Tanaman Hanjuang (*Cordyline fruticosa*). *Jurnal Sains Natural* 9(2):57-65.
- Sahara. 2022. Potensi Tanaman Gumitir (*Tegetes erecta*) Sebagai Fitoremediator. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*. 16(1):109-114.
- Santana, N.B., Dias J.C.T., Rezende R.P., Franco M., Oliveira L.K.S., dan Souza L.O. 2018. Production of xylitol and biodegradation of cocoa pod husk hemicellulose hydrolysate by *Candida boidinii* XM02G. *Plos one*. 13(4):195-206.
- Setiawan, I. M. R., Suprihatin, I. E., dan Siaka, I. M. 2023. Bioavailabilitas Logam Berat Pb dan Cu Dalam Sedimen dan Akumulasinya Dalam Buah Pedada (*Sonneratia alba*) di Kawasan Mangrove, Kedonganan. *Jurnal Kimia*. 17(2): 175-184.
- Setyawan, A., Yoyok, S, P. 2018. Pemanfaatan Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria Trifasciata*) Untuk Absorpsi Tembaga (Cu) Industri Peleburan Tembaga. *Jurnal Envirotek*. 9 (1): 13-21.
- Siaka, M., Owens, C. M., and Birch, G. F. 1998. Evaluation of Some Digestion Methods for the Determination of Heavy Metals in Sediment Samples by Flame-AAS. *Analytical Letters*. 31(4): 703-718.
- Siaka, I. M., Udayani, P. D. S., dan Suyasa, I. W. B. 2021. Bioavailabilitas dan Kandungan Logam Pb, Cu pada Tanah dan Sawi Putih di Desa Baturiti. *Jurnal Kimia*. 15(1): 20-28.
- Siaka, I.M., Utama, I.M.S., Manuaba, I.B.P, and Adnyana, I M. 2014. Heavy Metals Contents in the Edible Parts of Some Vegetables Grown in Candi Kuning, Bali and their Predicted Pollution in the Cultivated Soil. *Journal of Environmental and Earth Science*. 4(23): 78-83.
- Siaka, I. M., Suastuti, dan Mahendra I. P. B. 2016. Distribusi Logam Berat Pb dan Cu pada Air Laut, Sedimen, dan Rumpun Laut di Perairan Pantai Pandawa. *Jurnal Kimia*. 10(2): 190-196.
- Widyasari, N. L. 2021. Kajian Tanaman Hiperakumulator pada Teknik Remediasi Lahan Tercemar Logam Berat. *Jurnal ECOCENTRISM*. 1(1): 17-24.