

STUDI POTENSI *Pteris vitata*, *Amaranthus spinosus*, *Ipomoea reptans* SEBAGAI FITOREMEDIATOR TANAH TERCEMAR MERKURI (Hg)

Yeanchon H. Dulanlebit^{1*}, Samuel Unwakoly¹, Ritti P. Sangadji²

¹ Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan - Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

² Loka Pengawas Obat dan Makanan di Kabupaten Kepulauan Tanimbar

*yansendulanlebit@gmail.com

Received: 09 October 2020 / Accepted: 11 January 2021 / Published: 19 January 2021

ABSTRAK

Kerusakan lingkungan dan menurunnya kualitas hidup organisme akibat pencemaran logam merkuri (Hg) telah terjadi, dimana merkuri bereaksi dengan metana hasil dekomposisi senyawa organik membentuk metil merkuri yang bersifat toksik. Dewasa ini, beberapa penelitian pada kasus pencemaran merkuri diarahkan pada upaya remediasi lingkungan. Salah satu metode remediasi adalah menggunakan tanaman sebagai *bioremediator* yang mampu menyerap merkuri di lingkungan tanah dan perairan. Bioremediasi dengan pola fitoremediasi sangat ditentukan oleh jenis tumbuhan, iklim, dan kondisi *tailing* dimana semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah bervariasi. Upaya remediasi lingkungan secara *bioremediator* menggunakan Tanaman Paku Pakis (*Pteris vitata*), Bayam Duri (*Amaranthus spinosus*), dan Kangkung Darat (*Ipomoea reptans*) diharapkan mampu mengakumulasi merkuri dalam konsentrasi tinggi (hiperakumulator) sehingga dapat memulihkan tanah yang tercemar melalui penyerapan dan mengakumulasi merkuri di dalam jaringannya. Potensi tanaman sebagai fitoremediator merkuri dilakukan melalui pendekatan *Bio-Concentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF) yang didahului dengan analisis secara *Mercury Analyser*. Dari hasil didapatkan bahwa konsentrasi merkuri (Hg) pada tanah, pada akar, dan pada daun tanaman *Pteris vitata* masing-masing 1,46 mg.Kg⁻¹; 0,41 mg.Kg⁻¹; dan 0,08 mg.Kg⁻¹, tanaman *Amaranthus spinosus* masing-masing 1,28 mg.Kg⁻¹; 0,25 mg.Kg⁻¹; dan 0,02 mg.Kg⁻¹, dan tanaman *Ipomoea reptans* masing-masing 1,92 mg.Kg⁻¹; 1,06 mg.Kg⁻¹; dan 0,12 mg.Kg⁻¹. Nilai *Bio-Concentration Factor* (BCF) untuk masing-masing tanaman 0,28; 0,19; dan 0,55 dan *Translocation Factor* (TF) masing-masing 0,19; 0,08; dan 0,11. Hasil didapatkan bahwa ketiga tanaman hiperakumulator tidak efektif sebagai fitoremediator merkuri, walaupun efisiensi penyerapan masing-masing tanaman 33,56%, 21,09%, dan 61,46%.

Kata kunci : *bio-concentration factor*, *fitoremediator*, *merkuri*, *translocation factor*

PENDAHULUAN

Eksplorasi yang berdampak terhadap kerusakan lingkungan dan menurunnya kualitas hidup organisme telah menjadi perhatian serius termasuk pencemaran lingkungan. Pencemaran logam berat merupakan salah satu faktor penyebab timbulnya isu perubahan lingkungan terutama terkait pencemaran lingkungan oleh senyawa logam berat beracun (Tindaon, 2012). Logam berat dalam konsentrasi tertentu sangat berbahaya, salah satunya merkuri (Hg). Merkuri dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan pencemaran. Merkuri ditemukan dalam batu-batuan, biji tambang, tanah, air dan udara sebagai senyawa anorganik (Hg⁺, Hg²⁺) dan organik (CH₃HgCl dan C₂H₅HgCl), dalam jumlah banyak mempunyai potensi polutan yang bersifat toksik (Hindersah *et al*, 2017). Merkuri yang terpapar akan bereaksi dengan metana hasil dekomposisi senyawa organik membentuk metil merkuri yang bersifat toksik. Metil merkuri akan terakumulasi di otak, jika penyerapannya besar akan berdampak akut pada rusaknya keseimbangan tubuh, tidak bisa berkonsentrasi, dan gangguan pendengaran. Merkuri yang terhirup akan menyebabkan bronkitis hingga rusaknya paru-paru. Pada keracunan merkuri tingkat awal, penderita akan mudah lelah dan sering sakit kepala. Jika terjadi akumulasi dapat berakibat pada degenerasi sel-sel saraf otak kecil.

Beberapa penelitian khususnya pada kasus pencemaran merkuri diarahkan pada upaya remediasi lingkungan. Remediasi diharapkan dapat menghindari resiko kontaminasi yang bersumber dari alam (*geochemical*) dan akibat ulah manusia (*anthropogenic*). Salah satu metode remediasi adalah dengan menggunakan tanaman (*bioremediator*) yang mampu menyerap logam di lingkungan, metode ini dikenal sebagai fitoremediasi (Bayu dkk., 2010). Bioremediasi dengan pola fitoremediasi dilakukan untuk menanggulangi pencemaran yang terjadi khususnya di permukaan dan dalam tanah (Juhria, 2016). Fitoremediasi merupakan metode pengolahan limbah yang dimediasi oleh tumbuhan termasuk pohon, rumput, dan tumbuhan air yang keberhasilannya sangat ditentukan oleh jenis tumbuhan, iklim, dan kondisi *tailing* di mana semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah bervariasi.

Beberapa tanaman mampu mengakumulasi logam-logam dalam konsentrasi yang cukup tinggi (hiperakumulator) sehingga mampu menyerap dan mengakumulasi logam kontaminan di dalam jaringannya. Potensi ini sangat penting dimanfaatkan sebagai mediator pemulihan tanah dan perairan yang tercemar sehingga dapat digunakan kembali dengan aman. Tumbuhan digolongkan hiperakumulator jika mampu mengakumulasi merkuri (Hg) 10 mg.Kg⁻¹ berat kering. Tanaman paku (*Pteris vitata*) termasuk tanaman *Polypodiades* yang tumbuh pada daerah lembab di hutan, rawa, dan sungai (Kosegeran dkk., 2015). Tanaman paku mengandung enzim reduktase di membran akarnya yang berfungsi mereduksi logam dan translokasikan ke bagian lain tumbuhan. Penelitian Sopyan dkk., (2014), didapatkan tanaman paku mampu menyerap arsen (As) 27,00 mg.Kg⁻¹. Nilai biomassa menjadikan tanaman paku sebagai hiperakumulator karena dapat bertahan dan tidak terganggu proses pertumbuhan di lingkungan yang terkontaminasi arsen. Selain tanaman paku, tanaman bayam duri dan kangkung darat juga memiliki potensi sebagai fitoremediator merkuri. Irsyad dkk., (2014) mendapatkan bahwa konsentrasi merkuri maksimum yang terserap pada akar bayam duri 0,4625 mg.g⁻¹ berat kering akar dan jumlah konsentrasi di daun rata-rata 70,6901 mg.Kg⁻¹ berat kering daun. Penelitian Elvira, dkk. (2015) menunjukkan tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans*) juga mudah menyerap tembaga (Cu) di usia 2 minggu pada akar, batang dan daun berturut-turut 5,3403 mg.Kg⁻¹; 5,1117 mg.Kg⁻¹; dan 2, 6637 mg.Kg⁻¹.

Untuk mengetahui potensi tanaman sebagai fitoremediator merkuri, digunakan pendekatan *Bio-Concentration Factor* (BCF) yang merupakan rasio perbandingan antara konsentrasi logam merkuri pada tanaman (akar dan daun) dengan konsentrasi merkuri pada tanah, dan *Translocation Factor* (TF) sebagai rasio perbandingan antara konsentrasi merkuri pada daun dengan konsentrasi merkuri pada akar. Selisih nilai BCF dan TF digunakan untuk menghitung nilai Fitoremediasi (FTD) (Hamzah dkk., 2013). Penelitian ini untuk mempelajari apakah tanaman Paku Pakis (*Pteris vitata*), Bayam Duri (*Amaranthus spinosus*), dan Kangkung Darat (*Ipomoea reptanspoir*) berpotensi sebagai fitoremediator tanah tercemar merkuri. Prosesnya dengan mempelajari konsentrasi merkuri yang diserap, efisiensi dan efektivitas penyerapan, nilai BCF dan TF tanaman. *Mercury Analyser* digunakan karena memiliki kemampuan analisis kuantitatif merkuri dalam jumlah renik dengan kepekaan <1,0 mg.L⁻¹. Tujuan yang ingin dicapai adalah mempelajari efisiensi dan efektivitas penyerapan merkuri (Hg) pada ketiga tanaman tersebut melalui *Bio-Concentration Factor* dan *Translocation Factor* dan mengetahui konsentrasi merkuri (Hg) yang mampu diremediasi oleh tanaman *Pteris vitata*, *Amaranthus spinosus*, dan *Ipomoea reptanspoir* pada tanah tercemar merkuri.

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan, antara lain: oven (memmert), media maserasi, corong buchner, corong pisah, desikator, neraca analitik (ACIS Precisio Balance-AD 300), merkury analyzer (VM-3000 Hg Monitor), spektrometer IR (Drawell F96 Pro), hot plate (*Cimarec*), rotary evaporator, pompa vakum (Welch), dan peralatan gelas. Bahan-bahan yang digunakan, antara lain: sampel tanah, padatan HgCl₂ p.a, HNO₃ 65%, HClO₄ p.a, H₂SO₄ 96%, HCl 36%, KMnO₄ 0,1%, HONH₃Cl 10%, H₂O₂ 30%, SnCl₂.2H₂O, K₂S₂O₈ 5%, sampel *Pteris vitata*, sampel *Amaranthus spinosus*, dan sampel *Ipomoea reptanspoir*, polyetylen bag, kloroform, kertas whatman, akuades, dan etanol 96%.

Prosedur Penelitian:

1. Pembuatan larutan standar merkuri
Larutan merkuri 1000 mg.L^{-1} dibuat dengan menimbang HgCl_2 0,1354 g dan dilarutkan dengan akuades. Selanjutnya dibuatkan larutan merkuri 100 mg.L^{-1} . Merkuri 10 mg.L^{-1} dibuat dengan memipet 100 mL larutan merkuri 100 ppm yang diencerkan dengan akuades.
2. Pembuatan KMnO_4 0,1%, HONH_3Cl 10%, dan SnCl_2
Pembuatan larutan KMnO_4 dengan menimbang 0,05 g KMnO_4 dan dilarutkan dengan akuades dalam labu takar 50 mL. Pembuatan larutan HONH_3Cl 10% dengan menimbang 5,0 g HONH_3Cl dan dilarutkan dengan akuades dalam labu takar 50 mL. Pembuatan larutan SnCl_2 dengan memipet 15 mL HCl pekat dan dimasukkan dalam gelas kimia 50 mL yang berisi 15 mL akuades dan ditambahkan 5 g $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ kemudian ditambahkan akuades.
3. Pembuatan ekstrak alkohol
500 g serbuk sampel ditambahkan alkohol 96%, diekstraksi 48 jam dengan kecepatan 100 rpm. Maserat disaring, filtrat diuapkan pelarutnya hingga diperoleh ekstrak kental. Ekstrak diuapkan pelarutnya pada 40°C sampai berat konstan.
4. Penyiapan media tanam, penyiapan bibit, penanaman, dan pemanenan
Sampel tanah dimasukkan masing-masing 4,0 kg ke dalam 3 wadah. Selanjutnya pada wadah diberi 300 mL Hg 10 mg.L^{-1} dibiarkan selama 24 jam. Tanah diaduk secara merata dan dibiarkan 1 minggu sehingga dihasilkan tanah tercemar merkuri. Penyiapan dan penanaman sampel tanaman diawali dengan proses penyemaian bibit yang ditanam pada tanah bebas merkuri. Setelah bibit berumur 3 minggu dipilih tanaman dengan fenotip mirip. Masing-masing wadah yang telah diisi dengan media tanam, ditanami dengan tanaman dan dibiarkan tumbuh selama 21 hari. Tanaman yang dipanen kemudian dicuci dan dibersihkan dengan akuades. Dipisahkan daun dan akar dari sampel tanaman.
5. Pembuatan dan analisis larutan standar
Larutan standar dibuat pada konsentrasi 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; dan 3,2 ppb yang ditempatkan dalam labu takar 10 mL dan ditepatkan dengan akuades. Larutan ini kemudian ditambahkan berturut-turut 0,1 mL KMnO_4 0,1%, 0,1 mL HONH_3Cl 10% dan 0,5 mL $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dihomogenkan. Serapan diukur menggunakan *mercury analyzer*.
6. Destruksi dan analisis tanaman
Sampel ditimbang $\pm 1,00$ g kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL dan ditambahkan 10 mL $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ (1:1). Dipanaskan hingga jernih, disaring dan ditepatkan dengan akuades dalam labu takar 50 mL. Serapan diukur menggunakan *mercury analyzer*.
7. Analisis tanah dan sampel
Sampel tanah diambil dari masing-masing wadah saat pemanenan tanaman. Sampel tanah ditimbang 1,00 g, ditambahkan 5 mL H_2SO_4 dan 5 mL $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ (1:1). Dipanaskan hingga jernih, disaring dan ditepatkan dengan akuades dalam labu takar 50 mL. Serapan diukur menggunakan *mercury analyzer*. Larutan sampel akar, daun, dan tanah masing-masing dipipet 10 mL dan ditambahkan berturut-turut 0,1 mL KMnO_4 0,1% ; 0,1 mL HONH_3Cl 10% dan 0,5 mL larutan SnCl_2 dan dihomogenkan. Serapan diukur menggunakan *mercury analyzer*.
8. Analisis Data
Hasil pengukuran serapan larutan standar Hg selanjutnya dibuat kurva hubungan antara nilai absorbansi terhadap konsentrasi. Melalui kurva standar didapat hubungan konsentrasi (C) dengan absorbansi (A), konsentrasi sampel diketahui melalui persamaan regresi:
 $y = ax + b$ (Tindaon, 2012).

Kadar merkuri (mg.Kg^{-1}) menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar Hg} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{\text{konsentrasi} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{volume sampel (L)} \times \text{faktor pengenceran}}{\text{berat sampel (kg)}} \quad (\text{Pardede, 2011})$$

Analisis *Bioconcentration Factor* (BCF) pada akar dan daun dihitung menggunakan persamaan:

$$BCF = \frac{\text{kandungan Hg dalam tanaman (mg/Kg)}}{\text{kandungan Hg dalam tanah (mg/Kg)}}$$

Faktor Translokasi (TF) dari akar ke daun menggunakan persamaan:

$$TF = \frac{\text{kandungan logam berat pada daun (mg/Kg)}}{\text{kandungan logam berat pada akar (mg/Kg)}} \quad (\text{Puspita dkk., 2013})$$

HASIL PENELITIAN

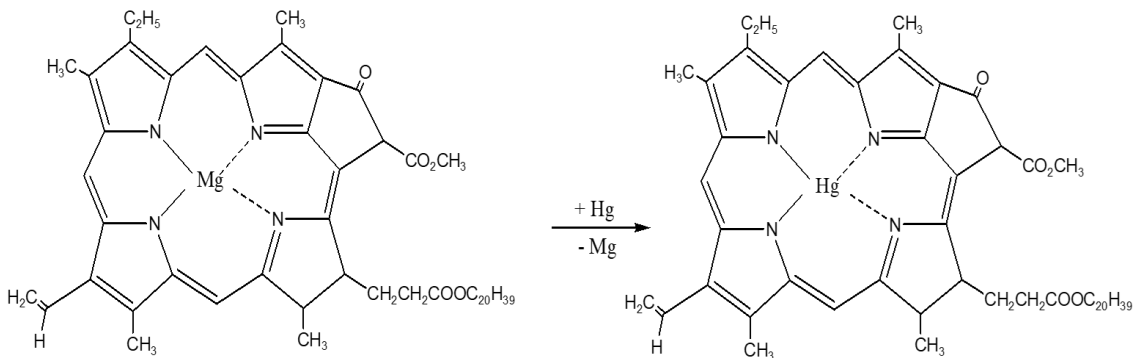
1. Analisis Merkuri (Hg)

Tahap awal adalah tanaman Paku Pakis (*Pteris vitata*), Bayam Duri (*Amaranthus spinosus*), dan Kangkung Darat (*Ipomoea reptanspoir*) ditumbuhkan pada rumah tanaman yang diberi lubang pada beberapa sisi sebagai tempat sirkulasi udara serta terhindar dari hama dan polutan. Sedangkan sampel tanah didestruksi menggunakan asam nitrat (HNO₃) dan asam perklorat (HClO₄) sebagai oksidator. Proses fitoremediasi dilakukan selama 21 hari. Konsentrasi 10 mg/L⁻¹ digunakan karena tanaman dikategorikan sebagai hiperakumulator terhadap merkuri (Hg) jika mampu mengakumulasi merkuri (Hg) sebesar 10 mg/kg berat kering (Kosegeran, dkk, 2015).

Tabel 1. Kandungan Merkuri (Hg) Pada Tanaman

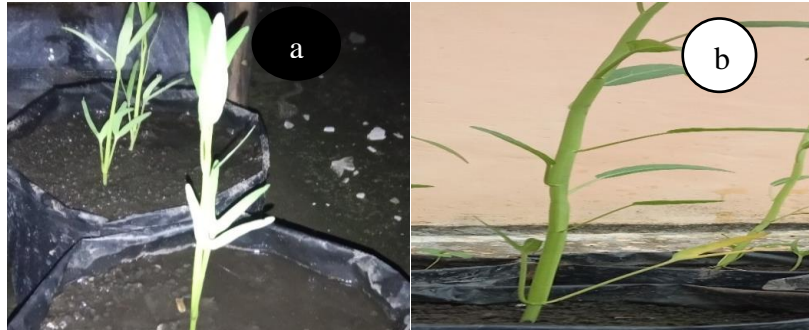
Sampel	Hg pada Tanah (mg.Kg ⁻¹)	Hg pada Akar (mg.Kg ⁻¹)	Hg pada Daun (mg.Kg ⁻¹)
Paku Pakis (<i>Pteris vitata</i>)	1,46	0,41	0,08
Bayam Duri (<i>Amaranthus spinosus</i>)	1,28	0,25	0,02
Kangkung Darat (<i>Ipomoea reptanspoir</i>)	1,92	1,06	0,12

Secara kuantitatif didapatkan konsentrasi Hg (mg.Kg⁻¹) dalam ketiga tanaman adalah berbeda. Perbedaan konsentrasi Hg pada tanah, akar, dan daun lebih disebabkan pada faktor kemampuan tanaman dalam menyerap merkuri. Secara kualitatif, penurunan konsentrasi merkuri ditandai melalui sejumlah daun yang mengalami perubahan warna dari hijau menjadi kuning. Perubahan warna daun tersebut merupakan gejala klorosis yang disebabkan oleh toksitas Hg. Klorosis adalah defisiensi magnesium (Mg) sehingga tidak mampu membentuk klorofil akibatnya daun berubah warna menjadi kuning dan kemudian akan mati. Perubahan fisik disebabkan karena Hg telah menggantikan Mg pada klorofil dalam daun (**Gambar 1**).



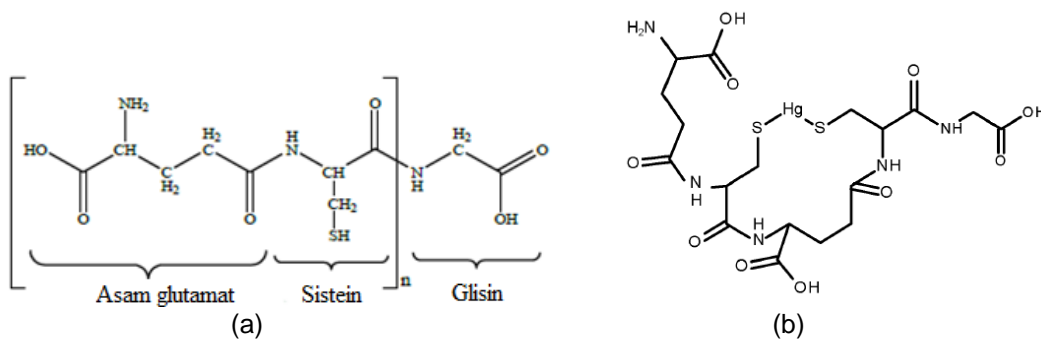
Gambar 1. Reaksi klorofil dengan Hg

Penurunan kadar klorofil terjadi seiring dengan kenaikan konsentrasi Hg. Meningkatnya konsentrasi Hg mengakibatkan rusaknya struktur kloroplas yang membuat perubahan warna pada daun.



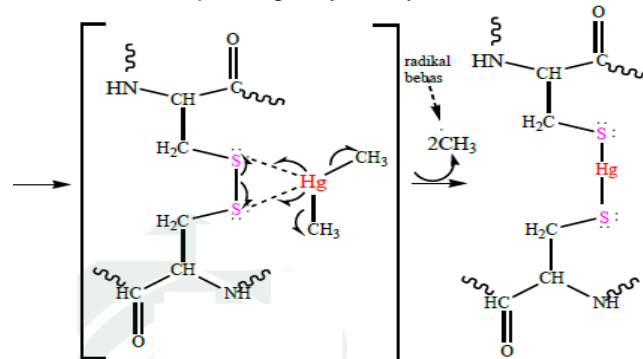
Gambar 2. Tanaman kangkung darat (a) minggu pertama, (b) minggu ketiga

Faktor kedua yang mempengaruhi adalah terjadi persaingan mekanisme translokasi logam. Komponen terbesar dalam tanaman adalah protein dan asam amino, komponen ini dapat digunakan untuk membentuk fitokelatin (**Gambar 3**). Senyawa fitokelatin berfungsi untuk mengikat unsur logam dan membawanya ke sel melalui peristiwa transport aktif (Puspita, *dkk*, 2013).



Gambar 3. (a) Fitokelatin, (b) Kompleks fitokelatin-Hg (PC₂-Hg)

Jika tanaman tidak mensintesis fitokelatin maka akan berujung pada kematian tanaman. Saat fitokelatin berikatan dengan Hg maka fitokelatin akan membentuk ikatan sulfida pada sistein dan membentuk senyawa kompleks sehingga Hg akan terbawa atau ditranslokasikan kedalam jaringan tumbuhan melalui penangkut yaitu xylem dan floem.



Gambar 4. Reaksi sistein dengan senyawa dimetil merkuri

Fitokelatin bereaksi dengan Hg membentuk senyawa kompleks maka akan terjadi toleransi logam dalam tanaman. Sopyan *et al.* (2014) dan Irsyad *et al.* (2014) menjelaskan bahwa tanaman dapat menyerap merkuri ke dalam akar dan sebagian lainnya terdistribusi pada bagian daun.

2. Nilai BCF dan TF

Faktor biokonsentrasi (BCF) dan factor translokasi (TF) dihitung untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam. BCF untuk mengetahui tingkat akumulasi Hg dari tanah ke tanaman dan TF untuk mengetahui translokasi Hg dari akar ke daun. Menurut Yoon *et al.* (2010), nilai BCF dan TF kurang dari satu berarti tanaman tersebut tidak cocok untuk fitoekstraksi. BCF merupakan koefisien untuk mengelompokkan efisiensi akumulasi logam toksik, nilai BCF >1 menunjukkan tanaman akumulator yang dapat memindahkan Hg dari tanah ke akar dan daun secara maksimal dan nilai TF >1 menunjukkan tanaman hiperakumulator. Nilai TF ditentukan dengan cara membagi nilai konsentrasi logam di bagian daun terhadap konsentrasi logam di bagian akar tanaman.

Tabel 2. Nilai BCF dan TF

Sampel	Faktor Biokonsentrasi	Faktor Translokasi
Paku Pakis (<i>Pteris vitata</i>)	0,28	0,19
Bayam Duri (<i>Amaranthus spinosus</i>)	0,19	0,08
Kangkung Darat (<i>Ipomoea reptanspoir</i>)	0,55	0,11

Berdasarkan tabel dapat dilihat bahwa nilai TF rendah yang menunjukkan bahwa tanaman ini mempunyai kemampuan menahan Hg di akar lebih besar. Efisiensi penyerapan pada tanaman Paku Pakis (*Pteris vitata*), Bayam Duri (*Amaranthus spinosus*), dan Kangkung Darat (*Ipomoea reptanspoir*) masing-masing adalah 33,56%, 21,09%, dan 61,46%.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian, disimpulkan bahwa tanaman Paku Pakis (*Pteris vitata*), Bayam Duri (*Amaranthus spinosus*) dan Kangkung Darat (*Ipomoea reptanspoir*) dapat mengekstrak merkuri dalam media tanah yang tercemar merkuri dengan konsentrasi merkuri pada akar dan daun tanaman *Pteris vitata* 0,41 mg.Kg⁻¹ dan 0,08 mg.Kg⁻¹, pada akar dan daun tanaman *Amaranthus spinosus* 0,25 mg.Kg⁻¹ dan 0,02 mg.Kg⁻¹, pada akar dan daun tanaman *Ipomoea reptanspoir* 1,06 mg.Kg⁻¹ dan 0,12 mg.Kg⁻¹ dengan masing-masing nilai BCF dan TF <1. Efisiensi penyerapan *Pteris vitata*, *Amaranthus spinosus*, dan *Ipomoea reptanspoir* berturut-turut 33,56%, 21,09%, dan 61,46%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Pattimura yang telah mendanai penelitian ini melalui PNBK Fakultas Tahun 2021 sehingga penelitian ini boleh dilakukan dengan baik. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Gajah Mada (UGM) dan Laboratorium Kimia FKIP Universitas Pattimura yang telah membantu dalam proses preparasi dan analisis sampel.

DAFTAR PUSTAKA

Arini, D. I., dan Julianus, K. (2012). Keragaman Jenis Tumbuhan Paku (Pteridophyta) di Cagar Alam Gunung Ambang Sulawesi Utara. Balai Penelitian Kehutanan Manado, 2 (1).

- Arya, S., and Rajesh, K. T. (2016). Noval Traits For Identifying *Amaranthus Spinosus* L. Using Systematic And Biochemical Analysis, *International Journal of Advanced Research*, 5 (1), 1579-1584.
- Bayu, I. M., Dwina, R., dan Popy, I. T. (2010). Akumulasi Logam Berat Kobalt Dari Tanah Andesol Menggunakan Tanaman Sawi India (*Brassica Juncea*, (Online), (<http://www/ftsl.itb.ac.id>).
- Danang, W. P., Mahat, M., Hendra, H., dan Joko, R. W. (2015). Jenis-Jenis Tumbuhan Reklamasi Potensial untuk Fitoremediasi di Kawasan bekas Tambang Emas, *Jurnal Fisika*, 1, 496-500.
- Elvira, T. H., Isa, I., dan Suleman, N. (2015), Fitoremediasi Pada Media Tanah Yang Mengandung Cu Dengan Tanaman Kangkung Darat, *Skripsi Universitas Gorontalo*.
- Favas, Paulo, J. C., João, P., Mayank, V., Rohan, D., and Manoj, S. P. (2014). Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. *Intech*, 486-517.
- Hamzah, F., dan Pancawaty, Y. (2013). Fitoremediasi Logam Berat dengan Menggunakan Mangrove, *Jurnal Ilmu Kelautan*, 18 (4), 203-212.
- Hidayati, N. (2013). Heavy Metal Hyperaccumulator Plant Physiologi, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 14 (2), 73-82.
- Hindersah, R., Robi, R., Marthin, K., Triyani, D., and Imran, M. (2017). Mercury Contamination in Soil, Tailing and Plants on Agricultural Fields Near Closed Gold Mine in Buru Island, Maluku, *J. Degraded and Mining Lands Management*, 5 (2), 1027-1034.
- Inswiari, dan Kusnoputranto, H. (2011). Pajanan Hg pada Petambang Emas Tradisional di Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah, *Jurnal Ekologi Kesehatan*, 10 (2), 72-82.
- Irsyad, M., Rismawaty, S., dan Musafira. (2014). Translokasi Merkuri (Hg) Pada Daun Tanaman Bayam Duri (*Amaranthus spinosus* L.) dari Tanah Tercemar, *Jurnal of Natural Science*, 3 (1), 8-17.
- Juhria, A. M. (2016). Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) pada Tanah dengan Tanaman *Celosia plumose* (Voss) Burv, *Jurnal Biologi Makassar*, 1 (1), 1-8.
- Kosegeran, Altini, O., Sendy, R., Henry, S., dan Marhaenus, R. (2015). Kandungan Merkuri Pada Tumbuhan Paku (*Diplazium Accedens Blume*) Di Daerah Tambang Emas Tatelu-Talawan, Kabupaten Minahasa Utara, *Jurnal Ilmiah Sains*, 15 (1), 1-2.
- Puspita, dkk. (2013). Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) Yang Terdapat Pada Limbah Cair Industri Batik, *Berkala Perikanan Terubuk*, 39 (1), 58-64.
- Sopyan, Rismawati, S., dan Ni Ketut, S. (2014). Fitoakumulasi Merkuri Oleh Akar Tanaman Bayam Duri (*Amarantus Spinosus* Linn) Pada Tanah Tercemar, *Jurnal of Natural Science*, 3 (1), 31-39.
- Suseno, H. (2011). Bioakumulasi Merkuri dan Metil Merkuri oleh *Oreochromis-mossambicus* Menggunakan Aplikasi Perunut Radioaktif: Pengaruh Konsentrasi, Salinitas, Partikulat, Ukuran Ikan dan Kontribusi Jalur Pakan, Disertasi, Jurusan Kimia Universitas Indonesia.
- Tindaon, F. (2012). Fitoremediasi Logam Berat Menggunakan Berbagai Jenis Tanaman Sayuran Pada Tanah Mengandung Lumpur Kering Limbah Domestik Kota Medan, *Fullpaper Universitas HKBP Nommensen*, 1-8.
- Widyati, E. (2011). Potensi Tumbuhan Bawah Sebagai Akumulator Logam Berat untuk Membantu Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang, *Jurnal Mitra Hutan Tanaman*, 6 (2), 46-56.