

## Potensi Fitoremediasi Tanah Tercemar Arsenik Koleksi Tumbuhan Paku Kebun Raya Purwodadi

ELGA RENJANA

Kebun Raya Purwodadi, Pusat Riset Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya, Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Jl. Raya Surabaya-Malang KM 65, Pasuruan, Indonesia. 67163  
Email: [elgarenjana@gmail.com](mailto:elgarenjana@gmail.com)

### ABSTRACT

Human activities such as industry, mining, agriculture, etc. have caused the increasing of heavy metal pollution in environment. Soil is an abiotic component with the most frequently subject to heavy metal contamination due to these activities. Arsenic (As) pollution is currently the most highlighted in Southeast Asia because it can disrupt the balance of ecosystems and threaten human health. Phytoremediation is a heavy metal remediation technology in polluted environment by utilizing plants as the main agent. Several studies have revealed that ferns can accumulate As. About 36 species of ferns have been conserved *ex situ* in Purwodadi Botanic Garden (PBG). However, there is currently no information of its potential as phytoremediation agent. This research was conducted to reveal the phytoremediation potential of As contaminated soil by PBG fern collection. The research began with the inventory of PBG ferns collection. The information of As accumulation potential was searched using literature study method. About seven species of PBG fern collections had the potential to accumulate As, namely *Asplenium nidus*, *Diplazium esculentum*, *Equisetum ramosissimum*, *Nephrolepis biserrata*, *N. cordifolia*, *Psilotum nudum*, and *Pteris vittata*. *P. vittata* has the best phytoremediation ability because it was able to accumulate As up to 5877 mg/kg in leaves and 2643 mg/kg in roots. The accumulation process occurred through absorption and translocation of As into vacuoles of root and leaf cells by a special mechanism involving specific transporters. Therefore, *P. vittata* is a hyperaccumulator fern that should be recommended for rehabilitation, reclamation, and restoration of As contaminated soil.

Keywords: arsenic; heavy metal; phyextraction; *Pteris vittata*; remediation

### INTISARI

Berbagai aktivitas manusia seperti perindustrian, pertambangan, pertanian, dan sebagainya telah menyebabkan peningkatan pencemaran logam berat pada lingkungan. Tanah merupakan komponen abiotik yang paling sering mengalami kontaminasi logam berat akibat aktivitas-aktivitas tersebut. Pencemaran arsenik (As) saat ini paling banyak disoroti di Asia Tenggara karena dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengancam kesehatan manusia. Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi remediasi logam berat di lingkungan tercemar dengan memanfaatkan tumbuhan sebagai agen utamanya. Beberapa penelitian telah mengungkap bahwa tumbuhan paku dapat mengakumulasi As ke dalam jaringan tubuhnya. Sekitar 36 jenis tumbuhan paku telah dikonservasi secara *ex situ* di Kebun Raya Purwodadi (KRP). Namun saat ini belum terdapat informasi tentang potensi koleksi tersebut sebagai agen fitoremediasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengungkap potensi fitoremediasi tanah tercemar As oleh koleksi tumbuhan paku KRP. Penelitian diawali dengan menginventarisasi data jenis koleksi tumbuhan paku KRP. Penelusuran informasi potensi akumulasi As dilakukan dengan metode studi pustaka. Sekitar tujuh jenis koleksi tumbuhan paku KRP diketahui berpotensi mengakumulasi As, yaitu *Asplenium nidus*, *Diplazium esculentum*, *Equisetum ramosissimum*, *Nephrolepis biserrata*, *N. cordifolia*, *Psilotum nudum*, dan *Pteris vittata*. Kemampuan fitoremediasi paling baik dimiliki oleh *P. vittata* karena mampu mengakumulasi As dengan konsentrasi mencapai 5877 mg/kg di bagian daun dan 2643 mg/kg di bagian akarnya. Proses akumulasi terjadi melalui penyerapan dan translokasi As pada vakuola sel akar maupun daun dengan mekanisme khusus yang melibatkan transporter spesifik. Oleh karena itu, *P. vittata* merupakan tumbuhan paku hiperakumulator yang patut direkomendasikan untuk kegiatan rehabilitasi, reklamasi, dan restorasi tanah tercemar As.

Kata kunci: arsenik; fitoekstraksi; logam berat; *Pteris vittata*; remediasi

## PENDAHULUAN

Sejak awal abad ke-20, kasus kontaminasi logam berat terhadap lingkungan mengalami peningkatan yang signifikan. Hal tersebut berakibat pada masalah pencemaran lingkungan dan kesehatan manusia yang menjadi perhatian dunia hingga saat ini. Berbagai aktivitas manusia seperti perindustrian, pertambangan, pertanian, dan sebagainya adalah penyebab utama terjadinya pencemaran logam berat. Tanah merupakan komponen abiotik yang paling sering mengalami kontaminasi logam berat akibat aktivitas-aktivitas tersebut (Zhang *et al.*, 2010). Akumulasi logam berat pada tanah dapat berdampak buruk pada ekosistem, seperti terganggunya aktivitas biodegradasi senyawa organik (Abdu *et al.*, 2017), terkontaminasinya air permukaan dan air tanah (Mohankumar *et al.*, 2016), dan polusi pada rantai makanan (Tchounwou *et al.*, 2012). Di samping itu, ancaman gangguan kesehatan manusia juga tidak dapat dihindarkan oleh toksisitas logam berat.

Berbagai jenis logam berat dilaporkan telah mengontaminasi lingkungan. He *et al.* (2015) menyatakan bahwa arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), merkuri (Hg), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan seng (Zn) merupakan logam berat yang paling banyak mengontaminasi lingkungan. Dari sekian jenis logam berat, As menjadi polutan yang paling banyak mendapat perhatian di Asia Tenggara (Meharg & Hartley-Whitaker, 2002). As umumnya ditemukan pada tanah dalam bentuk arsenat ( $\text{As}[\text{V}]$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$ ) dan arsenit ( $\text{As}[\text{III}]$ ,  $\text{AsO}_2^-$ ) (Mandal & Suzuki, 2002). As juga dapat berupa organometalik, seperti asam metil arsinik ( $\text{CH}_3$ ) $\text{AsO}_2\text{H}_2$  dan asam dimetil arsinik ( $\text{CH}_3$ ) $_2\text{AsO}_2\text{H}$ . As bersifat toksik yang dapat menyebabkan kerusakan kulit, meningkatkan resiko kanker, gangguan sistem kardiovaskuler, ginjal, saraf, dan endokrin (Scragg, 2006; Abdul *et al.*, 2015).

Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi remediasi logam berat di lingkungan tercemar dengan memanfaatkan tumbuhan sebagai agen utamanya. Dalam hal ini, tumbuhan akan mengambil (*uptake*),

mengangkut (*transport*), memindahkan (*translocation*), dan mendetoksifikasi (*detoxification*) logam berat. Tumbuhan yang mampu mengakumulasi 100 kali konsentrasi logam berat dibandingkan tumbuhan normal dikenal dengan istilah tumbuhan hiperakumulator (Hidayati, 2013). Meharg (2003) menyatakan bahwa sekitar 45 jenis tumbuhan paku berpotensi sebagai hiperakumulator As. Tumbuhan paku tersebut diketahui mampu mengakumulasi As pada tanah tercemar hingga 1000 mg/kg.

Kebun Raya Purwodadi (KRP) merupakan kawasan konservasi tumbuhan *ex situ* dataran rendah kering di bawah naungan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Sekitar 36 jenis tumbuhan paku dikoleksi oleh KRP (Renjana & Firdiana, 2020). Saat ini belum terdapat informasi tentang potensi koleksi tumbuhan paku KRP sebagai agen fitoremediasi. Pencarian informasi tersebut penting untuk dilakukan karena dapat digunakan dalam menentukan jenis-jenis tumbuhan koleksi untuk kegiatan rehabilitasi, reklamasi, dan restorasi lahan yang tercemar logam berat, khususnya As. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengungkap potensi fitoremediasi tanah tercemar As oleh koleksi tumbuhan paku KRP.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2021 di KRP. Penelitian diawali dengan pengumpulan data jenis koleksi tumbuhan paku dengan metode inventarisasi pada Sistem Informasi Katalog Koleksi Tanaman Kebun Raya Purwodadi (SIKATAN, 2021). Pencarian informasi potensi fitoremediasi tanah tercemar As untuk setiap jenis koleksi tumbuhan paku dilakukan dengan metode studi pustaka pada situs Google Scholar, ResearchGate, Neliti, Crossref, dan ScienceDirect dengan kata kunci “phytoremediation of ferns”, “arsenic hyperaccumulator plants”, dan “heavy metal phytoremediation”. Setelah diperoleh jenis koleksi tumbuhan paku yang berpotensi sebagai hiperakumulator As, pendokumentasian dan karakterisasi morfologi habitus dilakukan dengan metode pencadaraan. Data yang telah

terhimpun selanjutnya diinterpretasikan dalam bentuk tabel dan gambar, serta dianalisis secara deskriptif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelusuran pustaka pada penelitian ini mengungkap bahwa tumbuhan paku memiliki kemampuan mengakumulasi berbagai jenis logam berat, salah satunya adalah As. Di antara sekian banyak jenis tumbuhan paku, sekitar tujuh jenis yang berpotensi mengakumulasi As

dikoleksi oleh KRP, yaitu *Asplenium nidus*, *Diplazium esculentum*, *Equisetum ramosissimum*, *Nephrolepis biserrata*, *N. cordifolia*, *Psilotum nudum*, dan *Pteris vittata* (Tabel 1). Setiap jenis koleksi tersebut memiliki kemampuan mengakumulasi As dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Demikian pula terdapat variasi bagian tumbuhan yang menjadi lokasi akumulasi As, seperti akar, batang, dan daun.

Tabel 1. Koleksi tumbuhan paku Kebun Raya Purwodadi yang berpotensi sebagai fitoremediator As

Nama Jenis	Suku	Konsentrasi As (mg/kg)	Lokasi Akumulasi As	Referensi
<i>Asplenium nidus</i> L.	Aspleniaceae	3,9	Daun	Meharg, 2003
<i>Diplazium esculentum</i> (Retz.) Sw.	Athyriaceae	82,5 17,2	Akar Daun	Ahn <i>et al.</i> , 2017
<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf. subsp. <i>debile</i> (Roxb. ex Vauch.) Hauke	Equisetaceae	34,3 28,2	Akar Batang	Ahn <i>et al.</i> , 2017
<i>Nephrolepis biserrata</i> Schott	Nephrolepidaceae	153,96 <0.01	Daun Akar	Ancheta <i>et al.</i> , 2020
<i>Nephrolepis cordifolia</i> (L.) C.Presl.	Nephrolepidaceae	299 176	Akar Daun	Ahn <i>et al.</i> , 2017
<i>Psilotum nudum</i> (L.) P. Beauv.	Psilotaceae	0,4	Batang	Meharg, 2003
<i>Pteris vittata</i> L.	Pteridaceae	2643 5877	Akar Daun	Klopper, 2011; Ahn <i>et al.</i> , 2014; Ahn <i>et al.</i> , 2017; Aini, 2017

### *Asplenium nidus* L.

*Asplenium nidus* merupakan jenis tumbuhan paku dari suku Aspleniaceae. Masyarakat mengenal tumbuhan ini sebagai pakis sarang burung karena helaian daunnya tersusun menyerupai sarang dan menempel di pohon. Panjang helaian daun *A. nidus* dapat mencapai 50 cm. Pada bagian bawah daun terdapat *sori* berwarna coklat yang tersusun paralel di sepanjang urat daun, sehingga tampak seperti garis (Gambar 1). Pada umumnya *A. nidus* dimanfaatkan sebagai tanaman hias

sekaligus media tanam anggrek. Bahkan masyarakat lokal di beberapa negara seperti Malaysia, Filipina, dan Vanuatu, memanfaatkan *A. nidus* sebagai tumbuhan obat (PROSEA, 2016a). Namun secara ekologi, *A. nidus* ternyata dapat berperan sebagai agen fitoremediasi logam berat. Meharg (2003) menyatakan bahwa *A. nidus* dapat mengakumulasi As di daunnya sekitar 3,9 mg/kg. Koleksi *A. nidus* KRP ditanam di batang-batang pohon karena merupakan tumbuhan paku epifit.



Gambar 1. Koleksi *Asplenium nidus* L. Kebun Raya Purwodadi. Habitus (kiri) dan sori (kanan)

### ***Diplazium esculentum* (Retz.) Sw.**

*Diplazium esculentum* adalah tumbuhan paku terestrial yang termasuk dalam suku Athyriaceae. Tumbuhan ini memiliki rimpang tegak yang panjangnya dapat mencapai 100 cm dari permukaan tanah dan tertutup rambut/sisik berwarna coklat. Daunnya majemuk menyirip ganda (*bipinnate*) dengan tangkai daun berambut/bersisik pada bagian pangkal. *Sori* memajang hampir di seluruh urat daun bagian bawah (Gambar 2). Pada tunas daun yang masih menggulung dipenuhi oleh rambut/sisik. Tunas

tersebut oleh masyarakat Asia Tenggara dimanfaatkan sebagai sayuran, sehingga *D. esculentum* juga dikenal sebagai pakis sayur (PROSEA, 2016b). Namun aktivitas mengonsumsi *D. esculentum* perlu menjadi perhatian karena tumbuhan ini dapat mengakumulasi As. Ahn *et al.* (2017) menyatakan bahwa sekitar 17,2 mg/kg terakumulasi di daun *D. esculentum*, sedangkan pada bagian akar konsentrasi As yang terakumulasi lebih tinggi sekitar 82,5 mg/kg.



Gambar 2. Koleksi *Diplazium esculentum* (Retz.) Sw. Kebun Raya Purwodadi. Habitus (kiri) dan sori (kanan)

### ***Equisetum ramosissimum* Desf. subsp. *debile* (Roxb. ex Vauch.) Hauke**

*Equisetum ramosissimum* yang dikoleksi oleh KRP merupakan subsp. *debile*. Menurut PROSEA (2016c), *E. ramosissimum* yang terdapat pada wilayah Asia Tenggara hanya subsp. *debile* saja. Tumbuhan ini termasuk dalam suku Equisetaceae dan dikenal dengan sebutan pakis ekor kuda. Oleh karena bentuknya yang unik dan menarik, *E. ramosissimum* sering dimanfaatkan sebagai tanaman hias. Tumbuhan ini memiliki karakter khas, yaitu batangnya berkesat-sekat (*nodus*)

dan berlubang (Gambar 3). Daunnya kecil seperti sisik dan terletak pada setiap *nodus*. Selain itu, pada bagian *nodus* juga menjadi lokasi keluarnya cabang batang. Sporangia berada dalam strobilus yang terletak pada bagian ujung batang. Ahn *et al.* (2017) menyatakan bahwa *E. ramosissimum* memiliki kemampuan mengakumulasi As di dalam jaringan akar (34,3 mg/kg) dan batang (28,2 mg/kg). Selain As, *E. ramosissimum* juga dapat mengakumulasi logam berat lainnya, seperti timbal (Pb) dan seng (Zn).



Gambar 3. Koleksi *Equisetum ramosissimum* Desf. subsp. *debile* (Roxb. ex Vauch.) Hauke Kebun Raya Purwodadi. Habitus (kiri) dan *nodus* (kanan)

### ***Nephrolepis bisserata* Sw. Schott**

*Nephrolepis bisserata* merupakan kelompok Nephrolepidaceae yang umum ditemukan tumbuh di wilayah tropis Asia Tenggara. Tumbuhan ini termasuk tumbuhan paku terestrial atau epifit dengan tinggi yang dapat mencapai 3 m. Rimpangnya berambut/bersisik dan panjangnya hingga 25 cm. Daunnya majemuk dan permukaannya dipenuhi rambut/sisik pendek yang halus (PROSEA, 2016d). Pada bagian bawah daun terdapat *sori* berindusium yang tersusun dekat tepi hingga ibu tulang daun (*midrib*) (Gambar 4). Renjana *et al.* (2021) menyatakan bahwa *N.*

*bisserata* berpotensi mengobati berbagai macam penyakit karena mengandung senyawa antimikroba, antioksidan, dan antiradikal bebas. Selain itu, *N. bisserata* juga berpotensi sebagai agen fitoremediasi logam berat. Menurut Ancheta *et al.* (2020), *N. bisserata* dapat mengakumulasi As hingga 153,96 mg/kg pada bagian daunnya. PROSEA (2016d) menyatakan bahwa masyarakat Jawa dan Papua Nugini sering mengonsumsi daun *N. bisserata* sebagai sayuran, sehingga perlu diperhatikan kondisi lingkungan tumbuhan tersebut. As yang masuk ke dalam tubuh manusia akan mengakibatkan berbagai gangguan kesehatan.



Gambar 4. Koleksi *Nephrolepis bisserata* Sw. Schott. Kebun Raya Purwodadi. Habitus (kiri) dan *sori* (kanan)

### ***Nephrolepis cordifolia* (L.) C.Presl.**

*Nephrolepis cordifolia* adalah jenis lainnya dari kelompok Nephrolepidaceae yang dikoleksi oleh KRP. Jenis tumbuhan ini

dikenal dengan *erect sword fern* atau paku pedang dan sangat populer digunakan sebagai tumbuhan hias. PROSEA (2016d) menyatakan bahwa *N. cordifolia* banyak ditemukan di Pulau

Jawa, tepatnya pada daerah dataran rendah. Karakter khas *N. cordifolia* adalah memiliki umbi pada bagian rimpangnya. Tangkai daunnya tegak dengan tipe daun majemuk. Anak daunnya tersusun berseling namun rapat dengan ukuran yang semakin mengecil pada bagian ujung, sehingga tampak seperti pedang. *Sori* memiliki indusium berbentuk ginjal yang terletak pada daun bagian bawah, tepatnya di antara ibu tulang daun dan tepi daun (Gambar

5). Ahn *et al.* (2017) menyatakan bahwa *N. cordifolia* memiliki kemampuan mengakumulasi As pada tanah tercemar. Tumbuhan ini dapat mengakumulasi As pada bagian akar dan daun dengan konsentrasi berturut-turut sekitar 299 mg/kg dan 176 mg/kg. Hal ini sekaligus menunjukkan bahwa kemampuan *N. cordifolia* dalam mengakumulasi As lebih baik dibandingkan dengan *N. biserrata*.



Gambar 5. Koleksi *Nephrolepis cordifolia* (L.) C.Presl. Kebun Raya Purwodadi. Habitus (kiri) dan *sori* (kanan)

***Psilotum nudum* (L.) P. Beauv.**

*Psilotum nudum* merupakan koleksi tumbuhan paku KRP yang termasuk dalam suku Psilotaceae. Tumbuhan ini dikenal sebagai paku purba karena diperkirakan telah menghuni bumi sejak periode Devonian atau sekitar 400 juta tahun yang lalu (Yamakazi *et al.*, 2001). Namun hasil *assessment* status konservasi oleh Christenhusz *et al.* (2017) telah memasukkan *P. nudum* pada kategori kritis. Karakter khas tumbuhan ini adalah pola percabangan dikotomi atau menggarpu pada bagian batangnya. Selain itu, sporanya tersimpan dalam *synangium* yang berbentuk

kantong bulat dengan tiga ruang dan berwarna kuning cerah (Gambar 6). Nikmatullah *et al.* (2020) menyatakan bahwa *P. nudum* merupakan jenis tumbuhan paku berpotensi obat karena dapat menyembuhkan diare, disentri, maupun luka. Selain sebagai obat, *P. nudum* juga berpotensi mengakumulasi logam berat. Meharg (2003) menyatakan bahwa *P. nudum* dapat mengakumulasi As sekitar 0,4 mg/kg. Hal tersebut sekaligus menunjukkan bahwa kemampuan hiperakumulator As oleh tumbuhan paku telah dimulai dari tumbuhan paku primitif (Meharg, 2002).



Gambar 6. Koleksi *Psilotum nudum* (L.) P. Beauv. Kebun Raya Purwodadi. Habitus (kiri) dan *synangium* (kanan)

### ***Pteris vittata* L.**

*Pteris vittata* merupakan tumbuhan paku dari kelompok Pteridaceae yang dikoleksi oleh KRP. Tumbuhan ini memiliki rimpang pendek yang diselubungi oleh rambut/sisik berwarna kecoklatan. Daunnya majemuk dengan tangkai daun yang panjangnya dapat mencapai sekitar 50 cm, sedangkan anak daunnya memanjang dan berambut/sisik. Daun steril dan fertilnya memiliki karakter yang hampir sama, sehingga sulit untuk dibedakan (PROSEA, 2016e). Pada daun fertil bagian bawah terdapat sori yang tersusun di sepanjang tepi daun mulai pangkal hingga ujung (Gambar 7). Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa *P. vittata* merupakan jenis tumbuhan paku dengan

kemampuan fitoremediasi berbagai macam logam berat, bahkan dikenal sebagai hiperakumulator As (Klopper, 2011; Ahn *et al.*, 2014; Ahn *et al.*, 2017; Aini, 2017). Ahn *et al.* (2017) menyatakan bahwa *P. vittata* sangat efektif dalam meremediasi tanah yang terkontaminasi As dengan konsentrasi rendah atau sedang dalam kurun waktu 3 tahun. Tumbuhan ini mampu mengakumulasi As dengan konsentrasi mencapai 5877 mg/kg di bagian daun dan 2643 mg/kg di bagian akarnya. Di samping itu, *P. vittata* merupakan tumbuhan paku yang cepat tumbuh, mudah diperbanyak, dan biomasnya besar (Gonzaga *et al.*, 2008), sehingga sangat direkomendasikan untuk dijadikan agen fitoremediasi As.



Gambar 7. Koleksi *Pteris vittata* L. Kebun Raya Purwodadi. Habitus (kiri) dan sori (kanan)

### **Mekanisme Fitoremediasi As**

Patel *et al.* (2020) menyatakan bahwa dari sekian metode remediasi lingkungan, fitoremediasi adalah metode yang potensial diaplikasikan untuk menanggulangi tanah tercemar logam berat. Proses fitoremediasi juga disebut fitoekstraksi karena mampu menghilangkan ion-ion logam toksik yang ada pada tanah tercemar. Menurut Salt (2006) tumbuhan hiperakumulator memiliki proses fisiologis, biokimia, dan ekspresi gen pengatur akumulasi logam berat yang berbeda dengan tumbuhan normal. Awal mekanisme akumulasi As oleh tumbuhan hiperakumulator berlangsung pada organ akar. Terdapat beberapa faktor yang menentukan terjadinya mekanisme tersebut, seperti permeabilitas, transpirasi, dan tekanan akar

(Hidayati, 2013). Di samping itu, akar tumbuhan hiperakumulator juga memproduksi senyawa kelat yang dapat mengubah pH dan reaksi redoks dalam tanah, sehingga As dapat terserap. As akan melintasi membran plasma akar yang selanjutnya melalui reaksi enzimatik akan ditranslokasi pada vakuola sel akar. Selain itu, As juga akan ditranslokasikan menuju daun melalui xilem (Patel *et al.*, 2020). Meagher & Heaton (2005) dan Hidayati (2013) menyatakan bahwa tumbuhan hiperakumulator lebih mudah mentranslokasi As ke bagian tajuk tumbuhan dan disimpan pada vakuola sel daun hingga konsentrasi yang tinggi. Penyimpanan As pada vakuola sel terjadi melalui *gluthione conjugates* yang merupakan transpoter spesifik As.

## KESIMPULAN

Sebanyak tujuh jenis koleksi tumbuhan KRP diketahui memiliki potensi sebagai fitoremediator As. Jenis koleksi tumbuhan paku yang mampu mengakumulasi As dengan konsentrasi paling tinggi adalah *P. vittata*, sehingga berpotensi menjadi hiperakumulator As. Proses akumulasi terjadi melalui penyerapan dan translokasi As pada vakuola sel akar maupun daun dengan mekanisme khusus yang melibatkan transporter spesifik. Penelitian lebih lanjut sangat diperlukan untuk mengetahui efektivitas penggunaan tumbuhan paku dalam meremediasi logam berat pada lingkungan tercemar. Selain itu, penelusuran informasi potensi koleksi tumbuhan paku sebagai fitoremediator jenis logam berat lainnya juga perlu dilakukan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam merekomendasikan tumbuhan paku untuk kegiatan rehabilitasi, reklamasi, dan restorasi lahan tercemar logam berat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdu N, Abdullahi AA, Abdulkadir A. 2017. Heavy metals and soil microbes. *Environ. Chem. Lett.* vol 15(1): 65-84.
- Abdul KSM, Jayasinghe SS, Chandana EPS, Jayasumana C, Silva PMCS. 2015. Arsenic and human health effects: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology.* vol 40: 828-846.
- Ancheta MH, Quimado MO, Tiburan Jr CL, Doronila A, Fernando ES. 2020. Copper and arsenic accumulation of *Pityrogramma calomelanos*, *Nephrolepis biserrata*, and *Cynodon dactylon* in Cu- and Au- mine tailings. *Journal of Degraded and Mining Lands Management.* vol 7(3): 2201-2208.
- Anh BTK, Ha NTH, Danh LT, Minh VV, Kim DD. 2017. Phytoremediation applications for metal-contaminated soils using terrestrial plants in Vietnam. In: Ansari A, Gill S, Gill R, Lanza G, Newman L (eds). *Phytoremediation.* Switzerland: Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-52381-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52381-1_6).
- Anh BTK, Kim DD, Kien NT, Minh NN, Trung NQ, Chuyen NH. 2014. Phytoremediation of heavy metal polluted soil and water in Vietnam. *J. Viet. Env.* vol 6(1): 47-51. <https://doi.org/10.13141/jve.vol6.no1.pp47-51>.
- Aini N. 2017. Screening and uptake of arsenic by hyperaccumulator ferns grown on organic soil. [Thesis]. Malaysia: Universiti Putra Malaysia.
- Asplenium (PROSEA). (2016a, October 22). *Plant Use English.* Retrieved 11:24, May 22, 2021 from [https://uses.plantnet-project.org/e/index.php?title=Asplenium\\_\(PROSEA\)&oldid=325536](https://uses.plantnet-project.org/e/index.php?title=Asplenium_(PROSEA)&oldid=325536).
- Christenhusz M, Elias RB, Dyer R, Ivanenko Y, Rouhan G, Rumsey F, Vare H. 2017. *Psilotum nudum.* *The IUCN Red List of Threatened Species 2017:* e.T18821051A85448041. Downloaded on 23 May 2021.
- Diplazium (PROSEA). (2016b, October 22). *Plant Use English.* Retrieved 12:33, May 22, 2021 from [https://uses.plantnet-project.org/e/index.php?title=Diplazium\\_\(PROSEA\)&oldid=325543](https://uses.plantnet-project.org/e/index.php?title=Diplazium_(PROSEA)&oldid=325543).
- Equisetum ramosissimum (PROSEA). (2016c, April 13). *Plant Use English.* Retrieved 13:30, May 22, 2021 from [https://uses.plantnetproject.org/e/index.php?title=Equisetum\\_ramosissimum\\_\(PROSEA\)&oldid=21924](https://uses.plantnetproject.org/e/index.php?title=Equisetum_ramosissimum_(PROSEA)&oldid=21924).
- Gonzaga MIS, Santos JAG, Ma LQ. 2008. Phytoextraction by arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. from six arsenic-contaminated soils: repeated harvests and arsenic redistribution. *Environ Pollut.* vol 154: 212-218.
- He Z, Shentu J, Yang X, Baligar VC, Zhang T, Stofella PJ. 2015. Heavy metal contamination of soils: Source, indicators, and assessment. *J. Environ. Indic.* vol 9: 17-18.
- Hidayati N. 2013. Mekanisme fisiologis tumbuhan hiperakumulator logam berat. *J. Tek. Ling.* vol 14(2): 72-82.
- Klopper RR. 2011. The use of ferns in phytoremediation. *Pteridoforum.* vol 96: 1-5.
- Mandal BK and Suzuki KT. 2002. Arsenic round the world: a review. *Talanta.* vol 58: 201-235.
- Meagher RB & Heaton AC. 2005. Strategies for the engineered phytoremediation of toxic element pollution: mercury and arsenic. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* vol 32(11-12): 502-513.
- Meharg AA. 2002. Arsenic and old plants. *New Phytol.* vol 156: 27-31.
- Meharg AA. 2003. Variation in arsenic accumulation – hyperaccumulation in ferns and their allies. *New Phytol.* vol 157(1): 25-31.
- Meharg AA and Hartley-Whitaker J. 2002. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. *New Phytol.* vol 154: 29-43.
- Mohankumar K, Hariharan V, Rao NP. 2016. Heavy metal contamination in groundwater around industrial estate vs residential areas in Coimbatore, India. *J. Clin. Diagn., Res.* vol 10(4): BC05-BC07.
- Nephrolepis (PROSEA). (2016d, October 22). *Plant Use English.* Retrieved 13:52, May 22, 2021 from <https://uses.plantnet->



- project.org/e/index.php?title=Nephrolepis\_(PROSEA)&oldid=325556.
- Nikmatullah M, Renjana E, Muhaimin M, Rahayu M. 2020. Potensi tumbuhan paku (*ferns & lycophytes*) yang dikoleksi di Kebun Raya Cibodas sebagai obat. *AL-KAUNIYAH: Jurnal Biologi*. vol 13(2): 278-287.
- Patel M, Kumari A, Parida AK. 2020. Arsenic tolerance mechanisms in plants and potential role of arsenic hyperaccumulating plants for phytoremediation of arsenic-contaminated soil. In: Hasanuzzaman M (ed). *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II*. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2172-0>.
- Pteris (PROSEA). (2016e, October 22). *PlantUse English*. Retrieved 14:35, May 23, 2021 from [https://uses.plantnet-project.org/e/index.php?title=Pteris\\_\(PROSEA\)&oldid=325560](https://uses.plantnet-project.org/e/index.php?title=Pteris_(PROSEA)&oldid=325560).
- Renjana E and Firdiana ER. 2020. Inventarisasi dan strategi penataan koleksi pteridophyta di rumah kaca Kebun Raya Purwodadi. *Bioeksperimen*. vol 6(2): 89-100.
- Renjana E, Nikmatullah M, Firdiana ER, Ningrum LW, Angio MH. 2021. Potensi *Nephrolepis* spp. sebagai tanaman obat koleksi Kebun Raya Purwodadi berdasarkan kajian etnomedisin dan fitokimia. *Bul. Plasma Nutfah*. vol 27(1): 1-10.
- Salt DE. 2006. An extreme plant lifestyle metal hyperaccumulation. In: Taiz L & Zelger E (eds). *Plant Physiology. Fourth Edition*. US: Sinauer Assoc. Inc.
- Scragg A. 2006. *Environmental Biotechnology*. 2nd edition. UK: Oxford University Press.
- Sistem Informasi Katalog Koleksi Tanaman Kebun Raya Purwodadi (SIKATAN). 2021. Data koleksi pteridophyta. Diakses 20 Mei 2021 dari [https://192.168.82.5/portal/sikatan/data\\_katalog.php](https://192.168.82.5/portal/sikatan/data_katalog.php).
- Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*. vol 101: 113-164.
- Yamakazi Y, Suh DY, Sithithaworn W, Ishiguro K, Kobayashi Y, Shibuya M, Sankawa U. 2001. Diverse chalcone synthase superfamily enzymes from the most primitive vascular plant, *Psilotum nudum*. *Planta* vol 241: 75-84.
- Zhang MK, Liu ZY, Wang H. 2010. Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* vol 41(7): 820-831.