



## Fitoremediasi Air Tercemar Nikel (Ni) dan Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Azolla filiculoides* Lam.

### [Phytoremediation of Nickel and Mercury Contaminated Water Using *Azolla filiculoides* Lam.]

Sri Utami Rudy<sup>1</sup>, Wahyu Harso<sup>1</sup> ✉, Ramadanil<sup>1</sup>, Moh. Iqbal<sup>1</sup>, Prismawiryanti<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km. 9, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia

<sup>2)</sup> Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km. 9, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia

**Abstract.** Water pollution from settlements, agriculture, and industry is a significant issue, as it introduces pollutants like heavy metals into water bodies, harming both humans and aquatic ecosystems. Phytoremediation is a cost-effective, eco-friendly technology for reducing heavy metals in water bodies. This study aimed to assess *Azolla filiculoides* plants' ability to absorb heavy metals nickel and mercury. The plants were grown in a hydroponic solution contaminated with 0.25 ppm of nickel and 0.5 ppm of mercury. The growth of the plants was measured based on their wet and dry weight, and the nickel and mercury content in the plant tissue was analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The study found that the growth of *A. filiculoides* plants was unaffected by the concentration of either nickel or mercury. The amount of nickel absorbed by the plants was 0 µg/g plant dry weight, while for mercury, it was 1654.82 µg/g. Based on the results, *A. filiculoides* plant is more promising for use as a phytoremediation agent for water bodies contaminated with mercury heavy metals rather than nickel heavy metals.

**Keywords:** *Azolla filiculoides*, mercury, nickel, pollution

**Abstrak.** Sumber utama pencemaran air dapat berasal dari pemukiman, pertanian dan industri. Masuknya pencemar seperti logam berat ke dalam badan perairan memiliki konsekuensi yang merugikan bagi manusia dan ekosistem akuatik. Fitoremediasi merupakan teknologi yang ramah lingkungan dan berbiaya rendah dalam mengurangi logam berat dalam badan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman *Azolla filiculoides* dalam menyerap logam berat nikel dan merkuri. Tanaman *A. filiculoides* ditumbuhkan pada larutan hidroponik yang dikontaminasi dengan logam berat nikel dan merkuri masing masing sebanyak 0.25 ppm dan 0.5 ppm. Pertumbuhan dari tanaman *A. filiculoides* di ukur berdasarkan berat basah dan berat keringnya. Kandungan nikel dan merkuri dalam jaringan tanaman *A. filiculoides* dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (Atomic Absorption Spectrophotometry/AAS). Pengukuran kandungan logam berat nikel maupun merkuri dilakukan hanya pada tanaman yang media tanamnya dikontaminasi dengan nikel atau merkuri sebesar 0.5 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman *A. filiculoides* pertumbuhannya tidak dipengaruhi oleh konsentrasi logam berat nikel maupun merkuri. Jumlah nikel yang diserap oleh tanaman *A. filiculoides* sebanyak 0 µg/g berat kering tanaman sementara untuk merkuri sebanyak 1654.82 µg/g berat kering tanaman. Tanaman *A. filiculoides* lebih menjanjikan untuk digunakan sebagai agen fitoremediasi badan perairan yang terkontaminasi logam berat merkuri dari pada logam berat nikel.

**Kata kunci:** *Azolla filiculoides*, merkuri, nikel, pencemaran

Diterima: 5 Agustus 2024, Disetujui: 26 Agustus 2024

Sitasi: Rudy, S. U., Harso, W., Ramadanil, Iqbal, M., dan Prismawiryanti. (2024). Fitoremediasi Air Tercemar Nikel (Ni) dan Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Azolla filiculoides* Lam. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(2): 185-192.

✉ Corresponding author

E-mail: [wahyu.harso@gmail.com](mailto:wahyu.harso@gmail.com)

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i2.17343>



## LATAR BELAKANG

Polusi air terjadi ketika zat-zat berbahaya mencemari badan perairan, menurunkan kualitas air dan dapat menimbulkan resiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Kejriwal *et al.*, 2018). Sumber utama pencemaran air dapat berasal dari pemukiman, pertanian dan industri. Masuknya bahan kimia beracun, logam berat dan polutan lainnya ke dalam badan perairan memiliki konsekuensi yang merugikan bagi manusia dan ekosistem akuatik (Baseem, 2020).

Logam berat merkuri adalah polutan yang sangat beracun yang menimbulkan risiko yang sangat signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Khatoon-Abadi *et al.*, 2008). Penambangan emas skala kecil telah menjadi sumber utama pencemaran merkuri di dunia, karena penambang menggunakan logam ini untuk memisahkan emas dari lumpur (Wade, 2013). Merkuri dapat bertahan di atmosfer hingga satu tahun dan terkumulasi di ekosistem perairan, dimana merkuri tersebut berubah menjadi metilmerkuri yang merupakan suatu bentuk senyawa organik yang lebih beracun (Khatoon-Abadi *et al.*, 2008). Paparan pada manusia terjadi terutama melalui konsumsi ikan dan makanan laut yang terkontaminasi (Kim *et al.*, 2016; Rice *et al.*, 2014). Kontaminasi nikel dalam air minum berpotensi menimbulkan resiko kesehatan bagi manusia. Paparan dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan berbagai dampak kesehatan yang merugikan seperti alergi, penyakit kardiovaskuler dan ginjal, fibrosis paru-paru serta kanker paru paru, hidung dan sinus (Genchi *et al.*, 2020; Duda-Chodak and Blaszczyk, 2008). Kontaminasi nikel juga akan mengancam ketahanan pangan dan air secara global dengan berbagai proses biogeokimia

yang mempengaruhi perilakunya di lingkungan (El-Naggar *et al.*, 2021). Kegiatan industri, penggunaan pupuk kimia, pestisida merupakan sumber utama pencemaran nikel di badan perairan (Poonkothai and Vijayavathi, 2012). Ambang batas dari logam berat nikel dan merkuri di perairan sebesar 0.5 ppm sebagai pencemar (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2022).

Mengatasi polusi air sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat, melestarikan keanekaragaman hayati air dan memastikan ketersediaan air yang aman untuk berbagai kegiatan manusia (Pandey, 2006; Bassem, 2020). Berbagai metode untuk mengurangi kontaminasi logam berat di badan perairan dapat dilakukan. Metode konvensional seperti pertukaran ion dan pengendapan kimia adalah efektif akan tetapi metode ini mahal dan juga menghasilkan polutan sekunder (Singh *et al.*, 2024). Logam berat di perairan dapat juga dihilangkan dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben termasuk polimer, mineral alami, produk sampingan industri dan bahan nano karbon (Zaimee *et al.*, 2021) atau dengan menggunakan metode biologi dengan cara fitoremediasi yaitu sebuah teknologi yang ramah lingkungan yang menggunakan tanaman air. Fitoremediasi logam berat dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat dalam jumlah yang tinggi dimana tanaman tersebut tidak mengalami keracunan logam berat (Yelikbayev *et al.*, 2020).

Tanaman air yang umum digunakan untuk fitoremediasi di perairan antara lain *Eichornia crassipes* (enceng gondok), *Pistia stratiotes* (kiambang) dan *Lemna minor* (Kristanti dan Hadibrata, 2023). *Azolla filiculoides* (paku air) yang merupakan

tumbuhan yang hidup mengambang bebas, menunjukkan potensi yang signifikan sebagai fitoremediator untuk logam berat di lingkungan perairan. Beberapa penelitian telah menunjukkan kemampuan *A. filiculoides* untuk menyerap berbagai logam berat termasuk Ni, Cu, Cr, Pb, Hg, Zn, Cd, Ag dan Ti dari perairan yang terkontaminasi (Ahmady-Asbchin et al., 2012; Hassanzadeh et al., 2021).

Kemampuan tumbuhan hyperakumulator dalam menyerap logam berat tergantung kepada jenis logam beratnya (Vymazal and Brzinova, 2015). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanaman *A. filiculoides* dalam menyerap logam berat nikel dan merkuri. Tanaman *A. filiculoides* digunakan dalam penelitian ini karena mudah didapat dan ditumbuhkan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan yaitu tanaman *Azolla filiculoides* Lam., pupuk hidroponik AB Mix merek GoodPlant,  $\text{NiCl}_2$  p.a,  $\text{HgCl}_2$  p. a,  $\text{HNO}_3$  p.a,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  p.a, akuabides.

Alat yang digunakan yaitu Loyang plastik dengan ukuran diameter 30 cm dan tinggi 12 cm, aerator, jarum suntik, timbangan analitik, oven, labu destruksi, hot plate (pemanas), pipet, buret, saringan dan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) merek GBC Savantaa.

### Prosedur Penelitian

#### Rancangan penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktorial. Faktor pertama adalah jenis logam berat yang diberikan sebagai pencemar yaitu nikel (Ni) dan merkuri (Hg). Faktor kedua adalah konsentrasi logam berat yang diberikan yaitu 0.25 ppm dan 0.5

ppm. Penentuan konsentrasi yang diberikan berdasarkan pada batas ambang dari logam nikel dan merkuri sebagai pencemar di perairan sebesar 0.5 mg/L (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2022). Kombinasi perlakuan yang dilakukan diulang sebanyak 4 kali.

#### Persiapan tanaman uji

Tanaman *Azolla filiculoides* yang digunakan didapatkan dari Desa Kalukubula Kabupaten Sigi. Tanaman *A. filiculoides* kemudian dibudidayakan selama 2 minggu dalam sistem hidroponik di greenhouse. Dosis pupuk hidroponik yang diberikan adalah setengah dari dosis yang biasa digunakan.

#### Pembuatan larutan $\text{NiCl}_2$ dan $\text{HgCl}_2$ dengan konsentrasi 0.25 dan 0.5 ppm

Jumlah air yang digunakan dalam media tanam tanaman *A. filiculoides* adalah sebanyak 5 L. Untuk memberikan cemaran logam berat nikel sebesar 0.25 ppm diberikan  $\text{NiCl}_2$  sebanyak 2.75 mg. Sedangkan untuk cemaran logam berat nikel sebesar 0.5 ppm, diberikan  $\text{NiCl}_2$  sebanyak 5.5 mg.

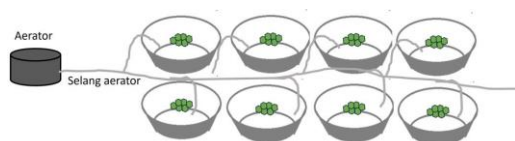
Untuk cemaran logam berat merkuri sebesar 0.25 ppm diberikan  $\text{HgCl}_2$  sebanyak 1.70 mg, sedangkan untuk cemaran logam berat merkuri sebesar 0.5 ppm diberikan  $\text{HgCl}_2$  sebanyak 3.4 mg.

#### Rancangan proses fitoremediasi

Sebanyak 16 loyang disiapkan kemudian masing masing diisi dengan 5 L larutan hidroponik yang telah dikontaminasi dengan logam berat nikel atau merkuri sesuai dengan konsentrasi yang diberikan. Kemudian batas air 5 L diberi penanda dengan menggunakan spidol permanen. Sebanyak 20 tanaman *A. filiculoides* hasil dari perkembangbiakan dalam sistem hidroponik kemudian dipindahkan ke

wadah yang berisi larutan hidroponik yang telah diberi pencemar nikel atau merkuri. Jumlah air dalam wadah setiap dua hari sekali dipertahankan dengan menambahkan air sampai batas permukaan air yang telah ditentukan demikian pula posisi masing masing wadah setiap dua hari diubah posisinya secara acak. Proses tersebut dilakukan selama 4 minggu.

Bagan penelitian sistem hidroponik yang dilakukan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 1.** Sistem hidroponik yang digunakan.

Udara ke media tanam disalurkan melalui aerator melalui selang. Selang utama dengan selang yang menuju cabang dihubungkan dengan menggunakan jarum suntik.

### **Parameter pengamatan**

#### 1. Berat basah tanaman

Berat basah tanaman *A. filiculoides* diperoleh dengan cara menimbang semua tanaman pada masing masing wadah segera setelah panen dengan menggunakan timbangan analitik.

#### 2. Berat kering tanaman

Setelah mendapatkan berat basah, semua tanaman pada masing masing wadah di oven pada suhu 65°C selama 48 jam. Kemudian ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik.

#### 3. Kandungan nikel dan merkuri dalam jaringan tumbuhan

Analisis kandungan nikel dan merkuri dilakukan pada tanaman *A. filiculoides* yang diberi perlakuan dengan konsentrasi

pencemar logam berat nikel dan merkuri sebesar 0.5 ppm.

Sebelum kandungan nikel dan merkuri dianalisis dengan menggunakan AAS, jaringan tanaman yang sudah dikeringkan didestruksi basah dengan menggunakan larutan asam. Sebanyak 1 g jaringan tanaman yang sudah dikeringkan diambil kemudian dimasukkan ke dalam labu destruksi berukuran 150 ml. Kemudian larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) ditambahkan ke dalam labu destruksi sebanyak 5 ml. Corong diletakkan dalam pada labu dan dibiarkan selama 6-8 jam. Setelah itu ditambahkan 10 ml asam sulfat. Kemudian campuran tersebut dipanaskan dengan hati hati di atas hot plate pada suhu 180-200°C dalam lemari asam hingga asap putih pekat keluar dan tersisa larutan bening yang transparan yang menandakan bahwa jaringan telah sepenuhnya terurai. Kemudian campuran didinginkan dan ditambahkan 25 ml air akuabides dan disaring ke dalam labu takar 100 ml, kemudian ditepatkan volumenya menjadi 100 ml dengan akubides. Filtrat yang ada kemudian dianalisis kandungan nikel dan merkurnya menggunakan AAS. Analisis nikel dilakukan pada panjang gelombang 232.0 nm. Analisis merkuri pada panjang gelombang 253.7 nm.

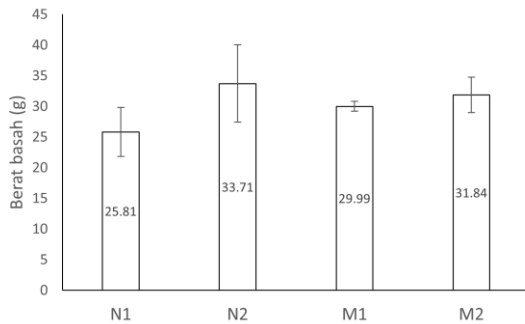
### **Analisis data**

Data pertumbuhan tanaman berupa berat basah dan berat kering tanaman kemudian dianalisis dengan Software *Jeffrey's Amazing Statistics Program (JASP)* 0.18.3.0 menggunakan Two Way ANOVA, dan bila perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata maka dilakukan dengan uji lanjut menggunakan uji Tukey dengan  $P < 0.05$ . Untuk mengetahui

perbandingan kemampuan tanaman *A. filiculoides* dalam menyerap nikel dan merkuri dilakukan dengan menggunakan uji T.

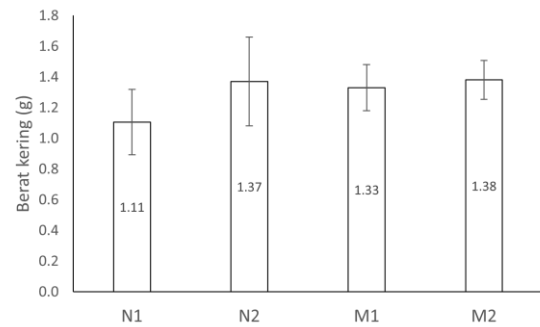
## HASIL DAN PEMBAHASAN

*Azolla filiculoides* merupakan tumbuhan hiperakumulator logam berat (Arora et al., 2006). Adanya logam berat nikel dan merkuri dengan konsentrasi masing masing 0.25 dan 0.5 ppm dalam media tumbuhnya tidak mempengaruhi pertumbuhannya yang dapat dilihat dari berat basah dan berat keringnya (Gambar 2 dan 3).



**Gambar 2.** Berat basah tanaman *Azolla filiculoides* yang diberi perlakuan logam berat nikel (N) dan merkuri (M) dengan konsentrasi 0.25 ppm (N1, M1) dan 0.5 ppm (N2, M2). Data yang ditampilkan adalah nilai rata-rata  $\pm$  simpangan baku.

Tidak dipengaruhinya pertumbuhan tanaman *A. filiculoides* oleh adanya perbedaan konsentrasi logam berat disebabkan kemampuan *A. filiculoides* tersebut untuk mengakumulasinya dalam tubuh tanpa menimbulkan stress karena memiliki adaptasi fisiologis yang efektif dalam menetralkan toksisitas dari logam berat dan dapat terus tumbuh serta menyerap kontaminan dari lingkungan tanpa penurunan biomassa yang signifikan (Carballo-Sanches et al., 2022).



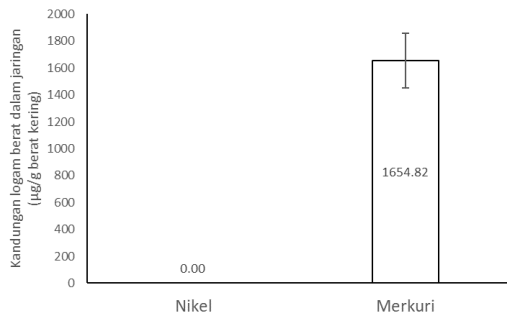
**Gambar 3.** Berat kering tanaman *Azolla filiculoides* yang diberi perlakuan logam berat nikel (N) dan merkuri (M) dengan konsentrasi 0.25 ppm (N1, M1) dan 0.5 ppm (N2, M2). Data yang ditampilkan adalah nilai rata-rata  $\pm$  simpangan baku.

Adaptasi fisiologis meliputi peningkatan pertumbuhan organ udara dan biomassa (Jonoubi and Limanjoubi, 2023). Pada tingkat molekuler, paparan logam berat menginduksi ekspresi gen metallothionin dan phytochelatin synthase yang memainkan peran penting dalam pengikatan dan penyerapan logam berat (Talebi et al., 2019). Mekanisme penyerapan logam berat pada tanaman *A. filiculoides* melalui tahap rhizofiltrasi dan fitoekstraksi (Al-Baldawi et al., 2022). Rhizofiltrasi adalah akar menyerap, mengendapkan atau mengurangi polutan dari air yang terkontaminasi. Fitoekstraksi adalah logam berat yang kemudian diakumulasi dibagian batang dan daun (Sukono et al., 2020). Akar tanaman *A. filiculoides* biasanya mengandung konsentrasi logam yang lebih tinggi dibandingkan dengan pucuknya (Sela et al., 1989). Kemampuan tanaman *A. filiculoides* dalam mengakumulasi logam berat disebabkan oleh gugus fungsi dari asam amino, karboksil, dan hidroksil (Ahmady-Abshin et al., 2012).

Pada penelitian ini tanaman *A. filiculoides* lebih banyak mengakumulasi logam berat merkuri dibandingkan dengan logam



berat nikel (Gambar 4). Jumlah nikel yang diserap oleh tanaman *A. filiculoides* sebanyak 0 µg/g berat kering tanaman sementara untuk logam merkuri dapat sebanyak 1654.82 µg/g berat kering tanaman.



**Gambar 4.** Kandungan nikel dan merkuri pada tanaman *Azolla filiculoides*.

Kemampuan tumbuhan hiperakumulator logam berat ditentukan juga oleh jenis logam beratnya (Vymazal and Brzinova, 2015). Perbedaan kemampuan logam berat terserap oleh tumbuhan dapat disebabkan oleh: a. Tumbuhan memiliki protein transporter ion yang spesifik untuk menyerap logam berat tertentu atau memiliki afinitas yang berbeda untuk logam berat yang berbeda (Jin et al., 2010; Komal et al., 2014), b. Mekanisme detoksifikasi dan akumulasi yang berbeda terhadap logam berat tertentu (Ejaz et al., 2023). Selain itu merkuri merupakan logam berat yang sangat reaktif dan dapat membentuk kompleks dengan senyawa organik atau anorganik di dalam tubuh tanaman yang dapat mempengaruhi penyerapan dan distribusi logam tersebut dalam jaringan tanaman (Wu et al., 2024). Berdasarkan penelitian ini, tanaman *A. filiculoides* lebih menjanjikan untuk digunakan sebagai agen fitoremediasi badan perairan yang terkontaminasi logam berat merkuri dibandingkan dengan logam berat nikel.

## KESIMPULAN

*Azolla filiculoides* lebih banyak mengakumulasi logam berat merkuri dibandingkan dengan nikel. Akumulasi logam berat merkuri pada *A. filiculoides* dapat sebanyak 1654.82 µg/g berat kering tanaman sedangkan untuk nikel hanya 0 µg/g berat kering tanaman sehingga *A. filiculoides* berpotensi untuk digunakan sebagai agen fitoremediasi badan perairan yang tercemar merkuri dibandingkan dengan badan perairan yang tercemar nikel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmady-Asbchin, S., Omran, A., and Jafari, N. (2012). Potential of *Azolla filiculoides* in the Removal of Ni and Cu From Wastewaters. *African Journal of Biotechnology*, 11(95), 16158-16164. DOI: 10.5897/AJB12.2165
- Al-Baldawi, I., A., Yasin, S. R., Jasim, S.S, Abdullah, S. R. S., Almansoori, A. F., and Ismail, N. I. (2022). Removal of Copper by *Azolla filiculoides* and *Lemna minor*: Phyto remediation Potential, adsorption Kinetics and Isotherms. *Heliyon*, 8(11), e11456 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11456>
- Bassem, S. M. (2020). Water Pollution and Aquatic Biodiversity. *Biodiversity International Journal*, 4(1), 10-16.
- Carballo-Sanchez, M. O., Miquel-Chavez, R. S., Alarcon, A., and Ferrera-Cerrato, R. (2022). Polyphenol characterization in *Azolla filiculoides* after Drying and Enzymatic Hydrolysis Processes. *BioResources*, 17(2), 2074-2083. <https://doi.org/10.15376/biores.17.2.2074-2083>
- Duda-Chodak, A. and Blaszczyk, U. (2008). The Impact of Nickel on Human Health. *Journal of Elementology*, 13(4), 686-697.
- Ejaz, U., Khan, S. M., Khalid, N., Ahmad, Z., Jehangir, S., Rivzi, Z. F., Lho, L. H., and Raposo, A. (2023). Detoxifying The Heavy Metals: A Multipronged Study of Tolerance Strategies Against Heavy Metals Toxicity in Plants. *Frontiers in*

- Plant Science*, 14: 115471. doi: 10.3389/fpls.2023.1154571
- El-Naggar, A., Ahmed, N., Mosa, A., Niazi, N., Yousaf, B., Sharma, A., Sarkar, B., and Cai, Y, and Chang, S. X. (2021). Nickel in Soil and Water: Sources, Biogeochemistry, and Remediation Using Biochar. *Journal of Hazardous Materials*, 419,1-16.
- Genchi, G., Carocci, A., Iauria, G., Sinicropi, M., and Catalano, A. (2020). Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 679, 1-21. doi:10.3390/ijerph17030679.
- Hassanzadeh, M., Zarkami, R., and Sadeghi, R. (2021). Uptake and Accumulation of Heavy Metals by Water Body and *Azolla filiculoides* in the Anzali Wetland. *Applied Water Science*, 11(91),1-8. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01428-y>
- Jin, F., Wang, C. W., Lin, H., Shen, Y., Zhang, Z., Zhao, M., and Pan, G. (2010). Heavy Metal-Transport Proteins in Plants: A Review. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 21(7), 1875-1882.
- Jonoubi, P., and Limanjoubi, S. L. K., 2023. Phytoremediation Potential, Anatomical and Reproductive Changes of *Azolla filiculoides* L., Fern in Polluted Area of Anzali Wetland, Iran. *Social Science Research Network*, 41(2), 122-137.
- Kejriwal, R., Mandke, M., and Ingle, P. (2018). Bio-Sorption of Heavy Metals: A Review. *International Journal of Advanced in Chemical Science*, 5(11), 31-42. <http://dx.doi.org/10.20431/2349-0403.0511004>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2022). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 2 Tahun 2022 tentang Petunjuk Operasional Penggunaan Dana Alokasi Khusus Fisik Penugasan Bidang Lingkungan Hidup dan Kehutan. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Khatoon-Abadi, A., Hoseini, A., and Khalili, B. (2008). Effect of Mercury on The Human Health and Environment: an Overview. *International Journal of Food Safety, Nutrition and Public Health*, 1(1),33-50. <https://doi.org/10.1504/IJFSNPH.2008.018854>
- Kim, K. H., Sabir, E., and Jahan, S. A. (2016). A review on The Distribution of Hg in The Environment and Its Human Health Impacts. *Journal of Hazardous Materials*, 305, 376-385.
- Komal, T., Mustafa, M., Ali, Z., and Kazi, A. G. (2014). Heavy Metal Uptake and Transport in Plants. *Journal of Endocytobiosis and Cell Research*, 25, 33-41.
- Kristanti, R. A., and Hadibarata, T. (2023). Phytoremediation of Contaminated Water using Aquatic Plants, Its Mechanism and Enhancements. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 32: 100451. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100451>
- Pandey, S. (2006). Water Pollution and Health. *Kathmandu University Medical Journal*, 4(13): 128-134.
- Poonkothai, M., and Vijayavathi, B. S., 2012. Nickel as an Essential Element and a Toxicant. *International Journal of Environmental Science*, 1(4), 285-288.
- Rice, K., Walker, E., Wu, Miaocong, Gillette, C., and Blough E. (2014). Environmental Mercury and Its Toxic Effect. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 47,74-83. <http://dx.doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>
- Sela, M., Garty, J., and Tel-or, E. (1989). The Accumulation and The Effect of Heavy Metals on The Water Fern *Azolla filiculoides*. *New Phytologist*, 112: 7-12.
- Singh, V., Ahmed, G., Vedika, S., Kjumar, P., Chaturvedy, S. K., Rai, S. N., Vamanu, E., and Kumar Ashish. (2024). Toxic Heavy Metal Ions Contamination in Water and Their Sustainable Reduction by Eco-Friendly Methods: Isotherms, Thermodynamics and Kinetics Study. *Scientific Reports*, 14: 7595. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58061-3>
- Talebi, M., Tabatabaei, B. S., and Akbarzadeh, H. (2019). Hyperaccumulation of Cu, Zn, Ni, and Cd in *Azolla* Species Inducing Expression of Metallothionein and Phytochelatin Synthase Genes. *Chemosphere*, 230, 488-497. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.05.098
- Vymazal, J., and Brezinova, T. (2015). Heavy Metals in Plants in Constructed and

- Natural Wetlands: Concentration, Accumulation and Seasonality. *Water Science and Technology*, 71(2), 268-276. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.507>
- Wade, L. (2013). Gold's Dark Side. *Science*, 341(6153),1448-1449. DOI:10.1126/science.341.6153.1448.
- Wu, Y. S., Osman, A. I., Hosni, M., Elgarahy, A. M., Eltaweil, A. S., Rooney, D. W., Chen, A., Rahim, N. S., Sekar, M., Gopinath, S. C. B., Rani, N. N. I. M., Batumalaie, K., and Yap, P. S. (2024). The Toxicity of Mercury and Its Chemical Compounds: Molecular Mechanisms and Environmental and Human Health Implication: A Comprehensive Review. *ACS Omega*, 9,5100-5126. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07047>
- Yelikbayev, B., Pagano, M., and Jamalova, G. (2020). Hyperaccumulator Plants for Phytoremediation of Soil Contaminated with Heavy Metals. *Bulletin of The National Academy of Sciences of The Republic of Kazakhstan*, 5(387): 34-40. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.140>
- Zaimee, M. Z. A., Sarjadi, M., and Rahman, M. L. (2021). Heavy metals Removal from Water by Efficient Adsorbents. *Water*, 13,2659,1-22. <https://doi.org/10.3390/w13192659>