



## Research Article

DOI : 10.36728/afp.v22i2.4371

# PENGHILANGAN LOGAM BERAT DARI LINDI TEMPAT PEMBUANGAN SAMPAH MENGGUNAKAN TANAMAN AKUATIK

Mimi Malisa Dolhan<sup>1\*)</sup>, Noor Farahin Bain<sup>2)</sup>, Nur Shuhada Arbaan<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departemen Teknik Sipil, Politeknik Sultan Idris Shah, Selangor, Malaysia

\* Email: [mimiedolhan@gmail.com](mailto:mimiedolhan@gmail.com)<sup>1)</sup>, [noor\\_farahin@psis.edu.my](mailto:noor_farahin@psis.edu.my)<sup>2)</sup>, [nshuhada@psis.edu.my](mailto:nshuhada@psis.edu.my)<sup>3)</sup>

## ABSTRACT

Landfill leachate, a contaminated liquid produced from rainwater passing through waste materials, presents serious environmental risks by polluting soil and water sources. This study examines the potential of water spinach (WS) (*Ipomoea aquatica*), water hyacinth (WH) (*Eichhornia crassipes*), and marsh pennywort (MP) (*Hydrocotyle umbellata*) to remove heavy metals from landfill leachate. It evaluates levels of heavy metals such as zinc (Zn), copper (Cu), and iron (Fe) to assess the effectiveness of pollutant removal. Leachates from landfills were distributed among four basins over a period of 28 days; (Basin 1 – control, basin 2 – water hyacinth, basin 3 – water spinach, basin 4 – marsh pennywort) and each basin underwent testing with different retention times. The results proved substantial decrease in all of the selected heavy metals (Zn, Cu and Fe) levels after treatment with WH, WS and MP. All the aquatic plants demonstrate an ability to absorb heavy metals, leading to lowered concentrations in the leachate. These findings highlight WH, WS and MP promise as phytoremediation tools for managing landfill leachate contamination that can help to combat pollution and safeguard water resources. This project aims to compare how effectively WS, WH and MP, with various exposure times, can eliminate heavy metals.

## KEYWORD

Heavy Metal, Leachate, Water Hyacinth, Water Spinach, Marsh Pennywort

## INFORMATION

Received : 29 November 2024

Revised : 19 Desember 2024

Accepted : 17 Januari 2025

Volume : 25

Number : 1

Year : 2025

Copyright © 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

## 1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan aktivitas manusia dan perubahan gaya hidup telah menyebabkan peningkatan signifikan dalam pembentukan sampah padat (Ahmed & Lan, 2012). Akibatnya, pengelolaan sampah padat kota (Municipal Solid Waste) (MSW) yang efektif menjadi sangat penting (Akinbile et al., 2012). Akibatnya, pengelolaan sampah padat kota (MSW) yang efektif menjadi sangat penting (Akinbile et al., 2012). Mengidentifikasi opsi yang layak dan efisien biaya untuk pengelolaan MSW tetap menjadi tantangan karena berbagai faktor (Umar, et al., 2010). Di banyak negara berkembang, pembuangan sampah

dengan sistem tempat pembuangan akhir (TPA) merupakan metode yang paling diterima untuk pembuangan limbah. Kepopulerannya berasal dari kelayakan teknis, biaya operasional yang rendah, kebutuhan pengawasan yang minim, dan kesederhanaannya (Renou, et al., 2008).

Lindi merujuk pada cairan terkontaminasi yang terbentuk ketika air meresap melalui sampah padat di tempat pembuangan, mengakumulasi polutan dan meresap ke daerah bawah permukaan (Fergusson, 1990). Proses-proses ini menyebabkan perkolasi lindi tempat pembuangan akhir, yang kualitas dan kuantitasnya bergantung pada variasi cuaca, usia tempat pembuangan, curah hujan, dan komposisi sampah padat (Abbas, et al., 2009). Perpindahan lindi dalam tempat pembuangan terbuka merupakan jalur utama bagi logam berat (Heavy Metals) (HMs) untuk mencemari air permukaan dan air tanah, tanah, serta vegetasi (Esakku et al., 2003; Kanmani et al., 2012; Slack et al., 2005), yang berasal terutama dari sumber-sumber seperti sampah elektronik, pewarna, pestisida, baterai, dan lampu neon (Ward, et al., 2005). Logam berat (HMs) merupakan polutan lingkungan utama akibat efek toksiknya, kecenderungannya untuk terakumulasi dalam sistem perairan, dan sifatnya yang tidak dapat terurai secara hayati (Censi et al., 2006). Oleh karena itu, penting untuk memilih metode pengolahan yang sesuai untuk lindi tempat pembuangan akhir (TPA) sebelum dibuang ke badan air agar menghindari kerusakan lingkungan.

Fitoremediasi, yang melibatkan penggunaan tanaman untuk pemurnian, telah muncul sebagai teknologi alternatif yang menjanjikan untuk remediasi logam berat. Teknologi ini bersifat mandiri dan ekonomis, terutama dalam mengolah lindi tempat pembuangan akhir yang terkontaminasi logam berat (Jones, et al., 2006; Kim & Owens, 2010). Dibandingkan dengan teknik konvensional untuk remediasi logam berat, yang seringkali tidak efektif dari segi biaya dan dapat berdampak buruk pada ekosistem perairan (Rai, 2008). Efektivitas fitoremediasi tergantung pada pemilihan tanaman yang tepat, yang dapat menghasilkan biomassa tinggi, bertahan hidup di lingkungan toksik, dan mengakumulasi kontaminan dengan efisien (Smits & Pilon, 2002). Makrofit akuatik memiliki pengaruh signifikan terhadap biogeokimia lingkungan akuatik melalui mekanisme transportasi elemen secara aktif maupun pasif (Xing & Liu, 2011). Penelitian terbaru telah mengidentifikasi beberapa spesies tanaman air yang cocok untuk remediasi logam berat, termasuk Cu, Zn, Fe, Cd, Pb, Cr, Hg, dan Ni.

Kangkung air, yang sering tumbuh di lingkungan yang terpapar pembuangan limbah domestik dan limbah lainnya, tidak hanya menyerap nutrisi tetapi juga berbagai polutan, termasuk logam berat, yang dapat menimbulkan risiko kontaminasi bagi konsumen (Gothberg et al., 2002). Logam berat disimpan di akar dan daun eceng gondok untuk jangka waktu terbatas (Favas et al., 2014). Pegagan air sangat dimanfaatkan untuk pengolahan limbah air kota karena pertumbuhannya yang cepat dan kemampuannya untuk menyerap nitrogen dan fosfor, sehingga meningkatkan kualitas air (Zhou et al., 2011). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanaman air seperti kangkung air (WS), eceng gondok (WH), dan pegagan air (MP) efektif dalam menghilangkan logam berat dari lingkungan akuatik (Radu et al., 2017; Huynh et al., 2021; Balamurugan & Shunmuga, 2021; Nurul Izzah et al., 2022; Ni et al., 2018; Nivetha et al., 2020; Saeed et al., 2023; Abbasi et al., 2019).

## 2. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki respons tanaman air di lingkungan alami terhadap pengurangan kontaminan melalui fitoremediasi. Tiga spesies tanaman air, yaitu eceng gondok (WH), kangkung air (WS), dan pegagan air (MP), dipilih untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam mengurangi kontaminan pada sampel lindi tempat pembuangan akhir



(a)



(b)



(c)

**Gambar 1.** Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) (a), Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*) (b), Pegagan Air (*Hydrocotyle Umbellata*) (c)

Sampel lindi diperoleh dari Tempat Pembuangan Akhir Sanitasi di Panchang Bedena, Selangor, sementara eceng gondok (WH), kangkung air (WS), dan pegagan air (MP) dikumpulkan dari sistem drainase terdekat di Politeknik Sultan Idris Shah (PSIS). Penelitian ini mengevaluasi tiga parameter logam berat berdasarkan Standar Pembuangan Limbah Domestik dan Industri: Seng (Zn), Tembaga (Cu), dan Besi (Fe).

Sampel lindi (10L) yang dilarutkan dengan air deionisasi (40L) didistribusikan ke dalam 4 bak selama periode 28 hari: Bak 1 berfungsi sebagai kontrol (C) tanpa tanaman, Bak 2 berisi sampel lindi yang dilarutkan dengan eceng gondok (WH), Bak 3 berisi sampel lindi yang dilarutkan dengan kangkung air (WS), dan Bak 4 berisi sampel lindi yang dilarutkan dengan pegagan air (MP). Semua sampel lindi diuji di bawah empat waktu retensi hidraulik (HRT) yang berbeda: 7, 14, 21, dan 28 hari, selama waktu tersebut sampel lindi berinteraksi dengan eceng gondok (WH), kangkung air (WS), dan pegagan air (MP). Analisis sampel air mengikuti prosedur yang dijelaskan dalam Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (William et al., 2023).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kapasitas bioakumulasi dan efektivitas makrofit akuatik eceng gondok (WH), kangkung air (WS), dan pegagan air (MP) dalam menghilangkan logam berat (HMs) dari sampel lindi, serta menentukan durasi retensi hidraulik optimalnya.

Pembacaan awal sampel lindi yang dikumpulkan selama pengambilan sampel menunjukkan bahwa nilai parameter yang diukur masih memenuhi standar efluent yang ditetapkan dalam Peraturan Kualitas Lingkungan (Limbah Domestik dan Industri) 1979. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa rata-rata Zn adalah 0,24 mg/L, Cu adalah 0,64 mg/L, dan Fe adalah 0,59 mg/L, seperti yang tercantum dalam Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, penghilangan logam berat (HMs) dari sampel lindi telah menjadi perhatian global yang signifikan karena efek toksiknya, bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah, terhadap lingkungan akuatik. Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa lingkungan sekitar tetap dalam kondisi baik dan memenuhi standar regulasi (Ionescu et al., 2015).

**Tabel 1.** 3 Parameter Logam Berat (Zn, Cu, dan Fe)

1	Lindi (Awal)	Standar Efluen Limbah Industri	
		Standar A	Standar B
Zn	0.24	2.00	2.00
Cu	0.64	0.20	1.00
Fe	0.59	1.00	5.00

Tabel 2. Merangkum efektivitas penghilangan logam berat (HMs) menggunakan eceng gondok (WH), kangkung air (WS), dan pegagan air (MP) pada sampel lindi. Semua parameter HMs menunjukkan hasil positif dalam penghilangan logam berat, yang membuktikan bahwa metode fitoremediasi sederhana dan efisien biaya untuk pengolahan lindi. Tingkat bioakumulasi menunjukkan efektivitas hingga hari ke-28 dari eksperimen, setelah itu tanaman menunjukkan penurunan efisiensi (Gambar 2.2 dan Gambar 2.3). Penyerapan logam berat oleh tanaman tergantung pada konsentrasi masing-masing logam yang ada dalam sampel lindi serta durasi paparan (Radu et al., 2017).

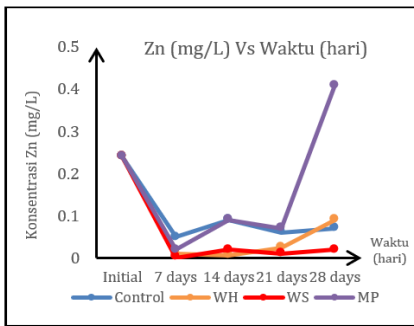
Secara keseluruhan, Tabel 3. Menunjukkan kangkung air (WS) memiliki persentase penyingkiran seng (Zn) tertinggi dalam sampel air, diikuti oleh eceng gondok (WH), dan penurunan seng (Zn) terendah terdapat pada pegagan air (MP) (WS>WH>MP). Tingkat efektivitas penghilangan tembaga (Cu) oleh tanaman yang diteliti menunjukkan urutan tertinggi pada pegagan air (MP), diikuti oleh kangkung air (WS), dan terendah pada eceng gondok (WH) (MP > WS > WH), Sementara itu, untuk besi (Fe), urutannya adalah pegagan air (MP), diikuti oleh kangkung air (WS), dan terakhir eceng gondok (WH) (MP > WS > WH). Analisis data sampel lindi yang diteliti juga menunjukkan bahwa persentase penghilangan logam berat yang paling tinggi berurutan adalah Cu>Zn>Fe. Secara keseluruhan, data yang tercatat menunjukkan bahwa sebagian besar tanaman yang diteliti mencatatkan waktu retensi optimal mereka (persentase penghilangan yang paling efisien) pada hari ke-7, diikuti oleh hari ke-14, 28, dan 21 (Gambar 3.1-3.3). Oleh karena itu, untuk memastikan efektivitas penghilangan logam berat, sangat penting untuk menerapkan jadwal pemantauan dan pemanenan secara teratur guna mencegah dekomposisi tanaman dan pengenalan kembali polutan. Setelah menganalisis tingkat persentase penghilangan logam berat (HMs) dari tanaman yang diteliti, pegagan air (MP) menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dalam pengolahan air, diikuti oleh kangkung air (WS) dan eceng gondok (WH).

**Tabel 2.** Penghilangan Logam Berat Setelah Fitoremediasi

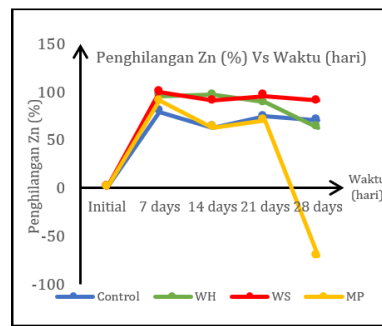
Uji (mg/L)	Sample	Lindi (Awal)	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
Cu	Kontrol	0.64	-0.035	-0.015	-0.005	-0.19
	WH	0.64	-0.0425	-0.035	-0.0375	-0.005
	WS	0.64	-0.035	-0.005	-0.05	-0.0675
	MP	0.64	-0.4175	-0.06	-0.1075	-0.09
Fe	Kontrol	0.59	0.1	0.136	0.192	0.21
	WH	0.59	0.25	0.26	0.46	0.43
	WS	0.59	0.31	0.18	0.51	0.44
	MP	0.59	0.57	0.112	0.68	0.78
Zn	Kontrol	0.24	0.05	0.09	0.06	0.07
	WH	0.24	0.01	0.007	0.025	0.09
	WS	0.24	0.0007	0.02	0.01	0.02
	MP	0.24	0.02	0.09	0.07	0.41

**Tabel 3. Penghilangan Logam Berat (%)**

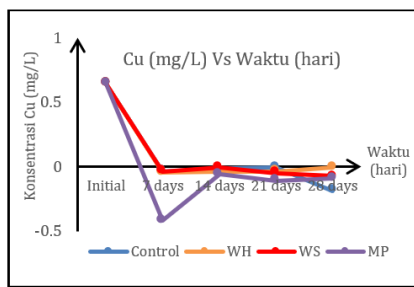
Uji (mg/L)	Sample	Lindi (Awal)	% 7 hari	% 14 hari	% 21 hari	% 28 hari
Cu	Kontrol	0.64	105.47	102.34	100.78	129.69
	WH	0.64	106.64	105.47	105.86	100.78
	WS	0.64	105.47	100.78	107.81	110.55
	MP	0.64	165.23	109.38	116.80	114.06
Fe	Kontrol	0.59	83.05	76.95	67.46	64.41
	WH	0.59	57.63	55.93	22.03	27.12
	WS	0.59	47.46	69.49	13.56	25.42
	MP	0.59	3.39	81.02	-15.25	-32.20
Zn	Kontrol	0.24	79.17	62.50	75.00	70.83
	WH	0.24	95.83	97.08	89.58	62.50
	WS	0.24	99.71	91.67	95.83	91.67
	MP	0.24	91.67	62.50	70.83	-70.83



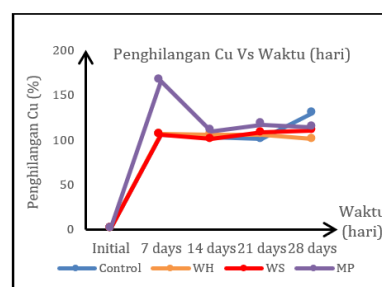
**Gambar 2. Zn (mg/L) vs Waktu (hari)**



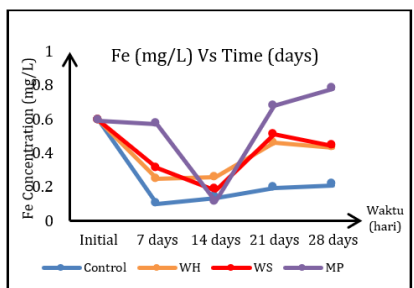
**Gambar 3. Penghilangan Zn (%) vs Waktu (hari)**



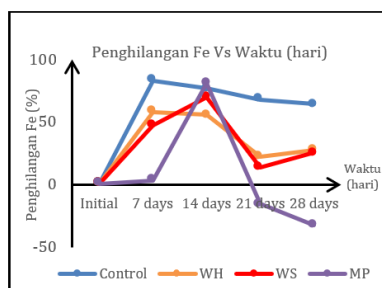
**Gambar 4. Cu (mg/L) vs Waktu (hari)**



**Gambar 5. Penghilangan Cu (%) vs Waktu (hari)**



**Gambar 6. Fe (mg/L) vs Waktu (hari)**



**Gambar 7. Penghilangan Fe (%) vs Waktu (hari)**

## 4. KESIMPULAN

Penelitian eksperimental ini mengevaluasi metode alternatif untuk pengolahan lindi, yang menunjukkan efektivitas fitoremediasi dan potensi penghilangan logam berat. Perbandingan penghilangan atau akumulasi logam berat (HMs) pada sampel lindi oleh tiga spesies tanaman akuatik menunjukkan kapasitas potensi fitoremediasi mereka. Persentase penghilangan HMs berkisar antara 25 hingga 165% dengan kondisi eksperimen seperti waktu retensi dan konsentrasi awal. Persentase penghilangan HMs adalah Zn (99%), Cu (165%), Fe (83%), dan berdasarkan urutan waktu retensi (persentase penghilangan) adalah 7 hari > 14 hari > 28 hari > 21 hari.

Pegagan air (Marsh pennywort) menunjukkan kapasitas yang jauh lebih besar untuk bio-akumulasi atau persentase penghilangan logam berat (HMs) dari sampel lindi landfill dibandingkan dengan kangkung air dan eceng gondok. Hal ini disebabkan karena MP menawarkan beberapa keuntungan untuk fitoremediasi, termasuk adanya akar filiform yang banyak, perkembangbiakan vegetatif melalui stolon, dan pertumbuhan yang cepat di sungai, aliran air, dan daerah rawa (Ni et al., 2018). Metode alternatif ini untuk penghilangan HMs dari lindi landfill secara bersamaan berkelanjutan, sederhana, efisien biaya, dan praktis sebagai teknik pengolahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. A. Abbas, G. Jingsong, L. Z. Ping, Y. Y. Pan, and W. S. Al-Rekabi. (2009). Review on Landfill Leachate Treatments. *American Journal of Applied Sciences*. 6(4): 672–684.
- Abbasi T., Pat naik P., Abbasi S.A. (2019). Ability of Indian Pennywort *Bacopa monnieri* (L.) Penel in the phytoremeditaion of sewage (greywater). *Environmental Science and Pollution Research*. 27: 6078-6087.
- Ahmad A., Ghufran R., Zularisam A.W. (2011). Phytosequestration of Metals in Selected Plants Growing on a Contaminated Okhla Industrial Areas, Okhla, New Delhi, India. *Water, Air and Soil Pollution*. 217: 255-266. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0584-9>
- Balamurugan P., Shumuga P.K. (2021). Phytoremediation Potential of Water Hyacinth in Heavy Metal Removal in Chromium and Lead Contaminated Water. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 103 (13).
- Bedabati Chanu L., Gupta A. (2016). Phytoremediation of Lead using *Ipomoea Aquatica* Forsk in Hydroponic Solution. *Chemosphere*. 156: 407-411. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.05.001>
- C. O. Akinbile, M. S. YusoK, and A. Z. Ahmad Zuki. (2012). Landfill Leachate Treatment using Sub-surface Jow constructed wetland by *Cyperus haspan*. *Waste Management*. 32(7): 1387–1393.
- D. L. Jones, K. L. Williamson, and A. G. Owen. (2006). Phytoremediation of Landfill Leachate. *Waste Management*. 26(8): 825–837.
- E. P. Smits and M. Pilon. (2002). Phytoremediation of Metals using Transgenic Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 21 (5): 439–456.
- Esakku, S.; Palanivelu, K.; Joseph, K. (2003). Assessment of Heavy Metals in a Municipal Solid Waste Dumpsite. In *The Proceedings of the Workshop on Sustainable Landfill Management*. Vol. 35, pp. 139–145.

- F. N. Ahmed and C. Q. Lan. (2012). Treatment of Landfill Leachate using Membrane Bioreactors: A Review, *Desalination*. 287: 41–54.
- Favas P.J.C., Pratas J., Varun M., D'Souza R., Paul M.S. (2014). Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. Croatia: InTech.
- Gothberg A., Greger M., Bengtsson B.E. (2002). Accumulation of Heavy Metals in Water Spinach (*Ipomoea Aquatica*) Cultivated in The Bangkok Region, Thailand. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 21. (9) : 1934-1939.
- Huynh A.T., Chen Y.C., Tran B.N.T. (2021). A Small-scale Study on Removal of Heavy Metals from Contaminated Water using Water hyacinth. *New Research on Detection and Removal of Emerging Pollutants*. (9): 1802.
- Ionescu P., Radu V., Gyorgy D., Ivanov A.A., Diacu E. (2015). Lower Danube water Quality Assessment using Heavy Metals Indexes. *Revista De Chimie (Bucharest)*. 6(8): 1088-1092.
- K. R. Kim and G. Owens. (2010). Potential for Enhanced Phytoremediation for Landfills using Biosolids—a review. *Journal of Environmental Management*. 91(4) : 791–797.
- Kanmani, S.; Gandhimathi R. (2012). Assessment of Heavy Metal Contamination in Soil due to Leachate Migration from an Open Dumping Site. *Applied Water Science*. 13, pp. 193–205.
- M. L. Ward, G. Bitton, and T. Townsend. (2005). Heavy Metal Binding Capacity (HMBC) of Municipal Solid Waste Landfill Leachate. *Chemosphere* 60(2): 206–215.
- M. Umar, H. Aziz, and M. S. Yusok. (2010). Trends in The use of Fenton, Electro-Fenton and Photo-Fenton for the Treatment of Landfill Leachate. *Waste Management*. 30 (11): 2113–2121.
- Ni J., Sun S.X., Zheng Y., Datta R., Sarkar D., Li Y.M. (2018). Removal of Prometryn from Hydroponic Media using Marsh Pennywort (*Hydrocotyle Vulgaris L.*). *International Journal of Phytoremediation*. 28(9): 909-913.
- Nivetha C., Vijayan D.S., Ravishankar R., Ramkumar S., Azaguraja P. (2020). Use of Pennywort for Nitrogen and Phosphate Removal from Sewage. In the *Proceedings of Materials Today*. 33 (1): 533-536.
- Nurul Izzah B.H., Mohd Zuhairi Z., Azman A., Mohd Fahmi A.B., Mohd Saiful S. (2022). Phytoremediation Process of Water Spinach (*Ipomoea Aquatica*) in Absorbing Heavy Metal Concentration in Wastewater. *Journal of Agrobiotechnology*. 13: 131-134.
- P. Censi, S. E. Spoto, F. Saiano et al. (2006). Heavy Metals in Coastal Water System. A Case Study from the Western Gulf of Thailand. *Chemosphere*. 64 (7): 1167–1176.
- Radu V. M., Ionescu P., Diacu E., Ivanov A. A. (2017). Removal of Heavy Metals from Aquatic Environments Using Water Hyacinth and Water Lettuce. *Revista De Chimie*, 68 (12): 2765-2767.
- Rai P.K. (2008). Heavy Metal Pollution in Aquatic Ecosystems and its phytoremediation using Wetland Plants: an eco-sustainable approach. *International Journal of Phytoremediation*. 10(2): 133–160.
- S. Renou, J. Givaudan, S. Poulain, and M. P. Dirassouyan. (2008). Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity. *Journal of Hazardous Material*. 150(3): 468–493.

- Saeed S.H., Ghulam M.S., Mahmood Q., Shaheen S., Bibi S.Z., Sharmyla N., Almutairi K.F., Avila-Quezada G.D., Abd\_Allah E.F. (2023). Phytoremediation Ability and Selected Genetic Transcription in *Hydrocotyle Umbellata* – Under Cadmium Stress. *International Journal of Phytoremediation*. 26(7).
- Slack, R.J.; Gronow, J.R.; Voulvoulis, N. (2005). Household Hazardous Waste in Municipal Landfills: Contaminants in leachate. *Sci. Total Environment*. Vol 337: 119–137.
- William C. Lipps, Braun-Howland E.B., Terry E. Baxter. (2023). *Standard Methods of Water and Wastewater*, 24th Edition. American Public Health, American Water Works Association. Water Environment Federation.
- Xing W, Liu G. (2011). Iron Biogeochemistry and Its Environmental Impacts in Freshwater Lakes. *Fresenius Environmental Bulletin*. Vol. 20, No 6.
- Zhou JH., Sun XW., Hu F., Li HX. (2011). Purifying effect of *Hydrocotyle Vulgaris* L. on Municipal domestic wastewater. *Journal of Zhongkai University Agricultural Engineering*. 24 (2): 9–12.