



Overview Fitoremediasi Dalam Pengelolaan Tanah Tercemar Kadmium (Cd)

Rizki Khoiriah Nasution¹, Nurkhamim^{2*}, Emil Salim Kahmi Leka¹

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Padjajaran Jl. Ring Road Utara No.104, Ngropoh, Condongcatur, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283
email : 212231003@student.upnyk.ac.id

Abstract: *Economic development and anthropogenic activities, such as industry and agriculture, lead to deepening soil pollution by heavy metals. Heavy metal pollution threatens human health through the food chain, air and direct contact. Agricultural soils are often polluted by mining waste residues, pesticides, and sewage disposal, which require immediate attention. Heavy metals such as cadmium (Cd), which cannot be biodegraded, have high toxic potential and adversely affect plant health, growth and food production. Conventional remediation methods, such as physical and chemical, face challenges such as high costs and the risk of secondary pollution. As an alternative, phytoremediation offers an environmentally friendly and low-cost solution by using plants to accumulate and remove heavy metals. This method is effective in reducing Cd pollution in soil. The purpose of the literature review is to compare plants that have effectiveness in cadmium absorption in soil. Based on the review of previous studies, it shows that plants such as Impatiens balsamina L are effective in the absorption of cadmium in soil by 96% and Red Cockscomb Celosia plumosa (Voss) Burv by 85%. This phytoremediation technology offers an easy and effective way to deal with heavy metal pollution in soil.*

Keywords: *Phytoremediation, Soil, Cadmium*

Abstrak: Pembangunan ekonomi dan aktivitas antropogenik, seperti industri dan pertanian, menyebabkan pencemaran tanah oleh logam berat yang semakin mendalam. Polusi logam berat mengancam kesehatan manusia melalui rantai makanan, udara, dan kontak langsung. Tanah pertanian sering tercemar oleh sisa limbah pertambangan, pestisida, dan pembuangan limbah, yang memerlukan penanganan segera. Logam berat seperti kadmium (Cd), yang tidak dapat mengalami biodegradasi, memiliki potensi toksik tinggi dan berdampak buruk pada kesehatan tanaman, pertumbuhan, dan produksi pangan. Metode remediasi konvensional, seperti fisik dan kimia, menghadapi tantangan seperti biaya tinggi dan risiko pencemaran sekunder. Sebagai alternatif, fitoremediasi menawarkan solusi ramah lingkungan dan biaya rendah dengan menggunakan tanaman untuk mengakumulasi dan menghilangkan logam berat. Metode ini efektif dalam mereduksi pencemaran Cd di tanah. Tujuan dari *literature review* untuk membandingkan tanaman yang memiliki efektivitas dalam penyerapan kadmium pada tanah. Berdasarkan hasil *review* dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tanaman seperti *Impatiens balsamina* L efektif dalam penyerapan *cadmium* pada tanah yaitu sebesar 96% dan Jengger Ayam Merah *Celosia plumosa* (Voss) Burv sebesar 85%. Teknologi fitoremediasi ini menawarkan cara yang mudah dan efektif untuk menangani pencemaran logam berat di tanah.

Kata Kunci: Fitoremediasi, Tanah, Kadmium

PENDAHULUAN

Dengan semakin cepatnya pembangunan ekonomi dan aktivitas antropogenik yang intensif, seperti yang terjadi di industri dan pertanian, masalah pencemaran tanah menjadi semakin menonjol. Polusi logam berat adalah salah satu ancaman utama terhadap kesehatan manusia, dan tubuh manusia terpapar melalui rantai makanan, udara, kulit, dan lainnya. Lahan pertanian biasanya tercemar oleh sisa limbah pertambangan, pestisida, dan pembuangan limbah, dan pencemaran logam berat di lahan pertanian perlu segera diatasi (Cheng dkk., 2017; Shaghaleh dkk., 2024). Dibandingkan dengan polusi air dan udara, polusi tanah memiliki kemampuan pembersihan diri yang buruk, penyembunyian yang kuat, dan waktu akumulasi risiko yang lama. Beberapa tanah

pertanian di Tiongkok tercemar oleh logam berat, seperti kadmium, tembaga, merkuri, timbal, dan arsenik (Liu dkk., 2012; Qin dkk.2021)

Berbeda dengan kontaminan organik, logam berat tidak dapat mengalami biodegradasi dan bertahan di lingkungan, sehingga menimbulkan bahaya lingkungan yang semakin besar seiring dengan kemajuan urbanisasi dan industrialisasi di Tiongkok (ZS Khan dkk., 2020). Kehidupan tanaman dan kesehatan manusia terancam jika tanah diperkaya dengan logam berbahaya/berat (HM), . Umumnya unsur-unsur ini ditemukan dalam konsentrasi rendah secara alami di lingkungan. Peningkatan konsentrasi logam berbahaya di tanah, udara atau air, biasanya disebabkan oleh berbagai kegiatan antropogenik termasuk pertambangan, limbah industri dan perkotaan, dan polusi dari sumber-sumber industri dan pertanian (Palansooriya dkk., 2020).

Selain itu, karena keberadaannya yang bertahan lama di lingkungan, peningkatan kadar logam jejak dapat menjadi racun bagi organisme hidup, termasuk tanaman, hewan, dan manusia (Hussain dkk., 2019). Dari HM tersebut, Cd merupakan logam non-esensial, sangat berbahaya, persisten, dan sangat mobile (Abedi dan Mojiri, 2020). Toksisitas Cd dalam tanah telah dikaitkan dengan gangguan fisiologis, pertumbuhan tanaman yang tidak normal, dan rendahnya aktivitas enzimatis (Thind dkk., 2020). Akumulasi Cd yang berlebihan dapat berdampak buruk terhadap perkecambahan benih (RKTiwari dkk., 2020), pengambilan dan transportasi air (Haider dkk., 2021), fotosintesis dan respirasi (Shanying dkk., 2017), serapan dan asimilasi mineral esensial (A. Khan dkk., 2016), pertumbuhan dan biomassa (S.Wu dkk., 2021) karbon dioksida (CO₂) ketersediaan dan konduktansi stomata (Tang dkk., 2018) dan morfologi akar (Borges dkk., 2019). Meningkatnya kontaminasi Cd di tanah subur dapat menimbulkan ancaman besar terhadap produksi pangan karena membatasi pertumbuhan tanaman pangan (Thind dkk., 2020; Y.-m. Wang dkk., 2020). Selain itu, penyakit hati, ginjal, dan jantung hanyalah beberapa dari masalah kesehatan serius yang dapat timbul dari konsumsi bagian tanaman dengan konsentrasi Cd yang lebih tinggi (Shi dan Wang, 2021).

Metode remediasi pencemaran logam berat di lahan pertanian meliputi remediasi fisik, kimia, dan biologi (Etim, 2012; Sani dkk., 2023; van der Ent dkk., 2013; Zine dkk., 2020; Jalil dkk., 2023). Remediasi pencemaran logam berat secara fisik dan kimia memiliki banyak kelemahan, termasuk biaya tinggi, mudah rusaknya struktur dan kesuburan tanah, serta pencemaran sekunder, dan terdapat keterbatasan tertentu dalam upaya promosinya (Yang dkk., 2020). Sebaliknya, fitoremediasi memiliki banyak keunggulan, seperti area aplikasi yang luas, harga yang murah, efek perbaikan yang tahan lama, kemudahan pemantauan, dan tidak adanya polusi sekunder, sehingga memiliki potensi yang tinggi untuk mengatasi pencemaran tanah (Hu dkk., 2016; Derek dkk., 2019; Wu dkk., 2009; Yong dkk., 2010). Tujuan dari penelitian ini sebagai acuan dalam menganalisis jenis tanaman yang cepat dalam proses penyerapan Kadmium (Cd) di tanah dengan menggunakan metode fitoremediasi.

Berikut adalah rangkuman dari penelitian sejenis yang menjelaskan hasil dari penelitian yang tertera pada **Tabel 1** dibawah ini:

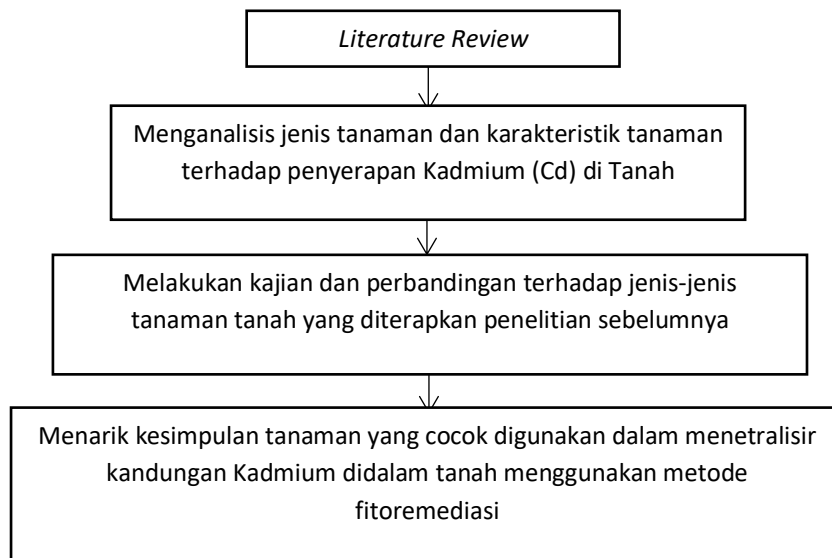
Tabel 1. Penelitian Sejenis

Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Alfan Fitra, Yuni Sri Rahayu, Winarsih	2013	Kemampuan fitoremediasi <i>typha latifolia</i> dalam menurunkan kadar logam kadmium (cd) tanah yang tercemar lumpur lapindo di porong sidoarjo	Rekomendasi menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman tumbuhan (<i>typha latifolia</i>)
Juhriah , Sri Suhadiyah, Reski Mandasari	2017	Respon pertumbuhan tanaman jengger ayam merah <i>celosia plumosa</i> (voss) burv. pada tanah tercemar logam berat kadmium (cd)	Rekomendasi menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman tumbuhan <i>jengger ayam merah celosia plumosa</i> (voss) burv
Hapsari, R. I dan Lestari, S. U	2017	Fitoremediasi logam berat kadmium (Cd) pada tanah yang tercemar dengan tanaman biduri (<i>caloptropis gigantea</i>)	Rekomendasi menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman biduri (<i>caloptropis</i>)

		dan rumput gajah (<i>panicum maximum</i>)	<i>gegantea</i>) dan rumput gajah (<i>panicum maximum</i>)
Amir Hamzah, Rosyda Priyadarshini dan Astuti	2018	Potensi tanaman <i>eleusine indica</i> l. sebagai agen fitoremediasi lahan pertanian yang tercemar kadmium (cd)	Rekomendasi menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman (<i>eichhornia crassipes</i>)
Juhriah , Nur Fadila La Ganirun , Elis Tambaru	2023	Kemampuan tanaman hias bunga <i>impatiens balsamina</i> l. dan <i>mirabilis jalapa</i> l. dalam fitoremediasi tanah tercemar logam kadmium (cd)	Rekomendasi menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman tanaman hias bunga <i>impatiens balsamina</i> l. dan <i>mirabilis jalapa</i> l

METODE

Tahapan dalam penelitian yang dilakukan seperti yang tertuang pada **Gambar 1**. Penelitian ini berdasarkan *literature review* baik jurnal nasional maupun internasional. Yang dirangkum dari beberapa karya ilmiah, baik dari jurnal nasional maupun internasional. *Literature review* merupakan proses kritisi mendalam dan evaluasi terhadap penelitian sejenis yang dilakukan sebelumnya (Shuttleworth: 2009). Tahapan penelitian yang dilakukan, sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang telah dilakukan menjelaskan perlunya tanaman dalam penetralisir tanah yang mengandung kandungan logam berat. Kadmium (Cd) merupakan salah satu bahan pencemar logam berat dan termasuk elemen alami yang sering mencemari lingkungan yang bersifat sangat akumulatif toksik. Aktivitas dalam menetralsisir tanah yang mengandung tembaga telah dilakukan di berbagai tempat dengan metode fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan salah satu teknik bioremediasi yang dapat digunakan sebagai solusi alternatif proses remediasi logam berat. Pada fitoremediasi ini menggunakan teknologi hijau yang hemat biaya, efisiensi dan ramah lingkungan berdasarkan penggunaan tumbuhan penumpukan logam untuk menghilangkan logam beracun, termasuk radio nuklida serta polutan organik dari tanah dan air yang terkontaminasi (Raskin I dkk: 1997). Tumbuhan memainkan peran penting dalam menghilangkan kontaminan dari lingkungan, mencapai efek detoksifikasinya, tiga teknik fitoremediasi utama dapat dibedakan tergantung pada sifat tanaman yang berbeda: fitoetraksi, -stabilisasi dan -volatilisasi (Marques et al., 2009). Berikut

tanaman yang dapat digunakan dalam menetralkan kandungan kadmium pada tanah berdasarkan penelitian sebelumnya, antara lain:

Tabel 2. Jenis Tanaman Fitoremediasi

Nama Peneliti	Jenis Tanaman	Waktu Penyerapan (Hari)	Perlakuan	Penurunan Kadar Kadmium
Alfan Fitra, Yuni Sri Rahayu, Winarsih	<i>(Typha latifolia)</i>	14	17,03 mg/kg	59,05 %
Juhriah, Sri Suhadiyah, Reski Mandasari	Jengger Ayam Merah <i>Celosia plumosa</i> (Voss) Burv	18	200 gr/L	85%
Hapsari, R. I dan Lestari, S. U	BIDURI (<i>Caloptropis gegantea</i>)	20	2.00 mg/kg	64,76%
Amir Hamzah, Rosyda Priyadarshini dan Astuti	<i>Eleusine indica L</i>	10	11,9 mg/ kg	57,11%
Juhriah, Nur Fadila La Ganirun, Elis Tambaru	<i>Impatiens balsamina L</i>	15	20,61 gr	96%

Berdasarkan tabel jenis tanaman yang telah diteliti oleh peneliti terdahulu diatas dapat di lihat waktu yang dibutuhkan tanaman dalam menyerap kadar logam kadmium pada tanah.

Pada penelitian Alfan Fitra, Yuni Sri Rahayu, Winarsih pada tahun 2013 menjelaskan bahwa penggunaan metode fitoremediasi menggunakan tanaman (*Typha latifolia*) dalam mengevaluasi efektivitas penghilangan Kadmium (Cd) dari lingkungan sebesar 59,05 % dengan perlakuan 17,03 mg/kg.

Penelitian yang telah dilakukan Juhriah, Sri Suhadiyah, Reski Mandasari 2017 menjelaskan bahwa penggunaan metode fitoremediasi menggunakan tanaman Jengger Ayam Merah *Celosia plumosa* (Voss) Burv dalam menganalisis pengaruh variasi waktu terhadap penyerapan Kadmium (Cd). Waktu yang dibutuhkan 18 hari dengan 200 gr/L Jengger Ayam Merah *Celosia plumosa* (Voss) Burv yang dicampurkan dengan tanah yang mengandung kadmium, diperoleh konsentrasi penurunan tembaga sebesar 85%.

Pada penelitian Hapsari, R. I dan Lestari, S. U pada tahun 2017 menjelaskan bahwa penggunaan metode fitoremediasi menggunakan tanaman biduri (*Caloptropis gegantea*) dan rumput gajah (*Panicum maximum*) memiliki efektivitas dalam menghilangkan kadar kadmium (Cd) sebesar 64,76%.

Pada penelitian Amir Hamzah, Rosyda Priyadarshini dan Astuti, Ngatijo menjelaskan bahwa untuk mengetahui tanaman yang cocok untuk digunakan dalam fitoremediasi adalah tanaman *Eleusine indica L*. Penggunaan tanaman ini, dengan waktu 10 hari dan perlakuan 11,9 mg/ kg *Eleusine indica L* yang mengandung kadmium, maka akan diperoleh penurunan kadar logam kadmium sebesar 57,11%, tanaman ini dapat direkomendasikan dalam menetralkan kandungan kadmium yang terdapat pada tanah.

Pada penelitian Juhriah, Nur Fadila La Ganirun, Elis Tambaru (2023) melakukan penelitian terkait dengan kemampuan aktivitas tanaman dalam mengurangi kadmium Tanaman yang digunakan dalam metode fitoremediasi *Impatiens balsamina L*. dan *Mirabilis jalapa L.*. Dari hasil penelitian diperoleh, waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar kadmium adalah 15 hari pada tanaman Daun Tombak (*Sagittaria lancifolia*) persentase sebesar 96%.

Berikut ini adalah tabel kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis tanaman dalam penyerapan logam kadmium pada tanah:

Tabel 3. Kelebihan dan Kekurangan dari Tanaman

Tanaman	Kelebihan	Kekurangan
<i>(Typha latifolia)</i>	<ol style="list-style-type: none"> Memiliki kemampuan yang baik untuk menyerap kadmium dari lingkungan, terutama dari air dan tanah yang tercemar. Ini menjadikannya pilihan efektif dalam fitoremediasi untuk membersihkan lingkungan dari kontaminasi kadmium. <i>Typha latifolia</i> dapat tumbuh dalam berbagai kondisi lingkungan, termasuk dalam tanah basah atau rawa, dan dapat menangani kondisi stres lingkungan seperti kontaminasi logam berat. 	<ol style="list-style-type: none"> Kadar kadmium yang tinggi dapat menyebabkan penumpukan logam berat dalam jaringan tanaman. Efektivitas tanaman ini dalam menyerap kadmium terbatas.
Jengger Ayam Merah <i>Celosia plumosa</i> (Voss) Burv	<ol style="list-style-type: none"> Memiliki kemampuan yang baik untuk menyerap kadmium dari lingkungan, terutama dari air dan tanah yang tercemar. Ini menjadikannya pilihan efektif dalam fitoremediasi untuk membersihkan lingkungan dari kontaminasi kadmium. <i>Celosia plumosa</i> memiliki nilai estetika tinggi berkat bunga yang menarik dan berwarna-warni. Ini membuatnya cocok untuk digunakan dalam proyek-proyek yang membutuhkan kombinasi antara fungsionalitas dan penampilan. Mudah tumbuh dengan cepat 	<ol style="list-style-type: none"> Kemampuan <i>Celosia plumosa</i> untuk menyerap kadmium mungkin tidak setinggi tanaman fitoremediasi khusus yang dirancang untuk tujuan tersebut, seperti <i>Typha latifolia</i> atau beberapa spesies <i>Pteris</i>. Jadi, efisiensinya dalam mengatasi kontaminasi kadmium mungkin lebih rendah. Kualitas penyerapannya bisa menurun jika kondisi lingkungan sangat buruk.
Biduri (<i>Calotropis gigantea</i>)	<ol style="list-style-type: none"> Memiliki kemampuan yang baik untuk menyerap kadmium dari lingkungan, terutama dari air dan tanah yang tercemar. Ini menjadikannya pilihan efektif dalam fitoremediasi untuk membersihkan lingkungan dari kontaminasi kadmium Tanaman ini sangat adaptif dan dapat tumbuh di berbagai jenis tanah, termasuk tanah kering dan kurang subur. Pertumbuhan yang tangguh, karena dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti tanah yang terkontaminasi, kering, atau kurang nutrisi. Ini meningkatkan peluangnya untuk berhasil dalam proses remediasi. 	<ol style="list-style-type: none"> Tanaman ini mungkin kurang efektif dalam mengatasi tingkat kontaminasi kadmium yang sangat tinggi dibandingkan dengan tanaman seperti <i>Pteris vittata</i> atau <i>Typha latifolia</i>. Kontaminasi berat dengan kadmium bisa berdampak buruk pada kesehatan <i>Calotropis gigantea</i>, mempengaruhi pertumbuhan dan mengurangi efektivitasnya dalam jangka panjang.
<i>Eleusine indica L</i>	<ol style="list-style-type: none"> Memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan, termasuk tanah yang tercemar. Tanaman ini memiliki pertumbuhan yang relatif cepat, yang memungkinkan untuk remediasi yang lebih cepat di area yang terkontaminasi. <i>Eleusine indica</i> dapat menghasilkan biomassa yang tinggi dalam waktu singkat. Biomassa yang tinggi berarti kapasitas akumulasi logam berat juga bisa lebih besar, sehingga 	Penumpukan kadmium dalam jaringan tanaman bisa menyebabkan efek toksik

meningkatkan potensi fitoremediasi.

<p>Impatiens balsamina L</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Impatiens balsamina</i> memiliki bunga-bunga yang cerah dan menarik. Ini memberikan nilai estetika tambahan dalam proyek fitoremediasi, memungkinkan integrasi remediasi dengan desain lanskap. 2. Tanaman ini dapat tumbuh dalam berbagai kondisi tanah dan lingkungan, termasuk tanah yang kurang subur atau sedikit terkontaminasi. Ini menjadikannya pilihan yang fleksibel untuk beberapa situasi remediasi. 3. <i>Impatiens balsamina</i> memiliki pertumbuhan yang relatif cepat, memungkinkan perbaikan kondisi tanah dalam waktu yang singkat. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kadmium yang terakumulasi dalam jaringan tanaman bisa mengakibatkan efek toksik pada tanaman itu sendiri, seperti penurunan pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Jika kadmium terakumulasi pada kadar tinggi, ini bisa mempengaruhi efektivitas jangka panjang tanaman dalam remediasi 2. Tanaman ini mungkin tidak dapat mengatasi kondisi kontaminasi yang sangat berat atau ekstrem, yang dapat membatasi aplikasi fitoremediasi di area dengan tingkat kontaminasi yang tinggi.
------------------------------	---	---

KESIMPULAN

Berdasarkan *literature review*, dapat ditarik kesimpulan bahwa beberapa tanaman memiliki efek yang signifikan dan efisien dalam membantu penyerapan kandungan logam kadmium (Cd) pada tanah. Beberapa tanaman mampu bertahan dalam kondisi tanah tercemar logam berat. Aplikasi tanaman tersebut pada tanah tercemar kadmium (Cd) pun sangat mudah dilakukan. Berdasarkan dari 5 tanaman yang ditinjau dari penelitian sebelumnya, tanaman *Impatiens balsamina L* efektif dalam penyerapan *cadmium* sebesar 96% dan Jengger Ayam Merah *Celosia plumosa* (Voss) Burv sebesar 85%, sehingga dua tanaman ini dapat direkomendasikan untuk penyerapan pada logam *cadmium* (Cd). Proses dalam penyerapan yang cepat, mudah di aplikasikan dan tanaman yang mudah ditemukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abedi, T., Mojiri, A., 2020. Cadmium uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.): an overview. *Plants* 9 (4), 500;
- Borges, K.L.R., Hippler, F.W.R., Carvalho, M.E.A., Nalin, R.S., Matias, F.I., Azevedo, R.A., 2019. Nutritional status and root morphology of tomato under Cd-induced stress: comparing contrasting genotypes for metal-tolerance. *Sci. Hortic.* 246, 518–527;
- Cheng, M.M., Wang, A., Tang, C.X., 2017. Ammonium-based fertilizers enhance Cd accumulation in *carpobrotus rossii* grown in two soils differing in pH. *Chemosphere* 188, 689–696;
- Etim, E.E., 2012. Phytoremediation and its mechanisms: a review. *Int. J. Environ. Bioenergy* 2, 120–136;
- Haider, F.U., Liqun, C., Coulter, J.A., Cheema, S.A., Wu, J., Zhang, R., Farooq, M., 2021. Cadmium toxicity in plants: impacts and remediation strategies. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 211, 111887;

- Hu, Y., Cheng, H., Tao, S., 2016. The challenges and solutions for cadmium-contaminated rice in China: a critical review. *Environ. Int.* 92-93, 515–532;
- Hussain, A., Ali, S., Rizwan, M., ur Rehman, M.Z., Qayyum, M.F., Wang, H., Rinklebe, J., 2019. Responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants grown in a Cd-contaminated soil to the application of iron oxide nanoparticles. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 173, 156–164;
- Jalil, S., Nazir, M.M., Al-Huqail, A.A., Ali, B., Al-Qthanin, R.N., Asad, M.A.U., Eweda, M. A., Zulfiqar, F., Onursal, N., Masood, H.A., Yong, J.W.H., Jin, X., 2023. Silicon nanoparticles alleviate cadmium toxicity in rice by modulating the nutritional profile and triggering stress-responsive genetic mechanisms. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 268, 115699;
- Khan, Z.S., Rizwan, M., Hafeez, M., Ali, S., Adrees, M., Qayyum, M.F., Sarwar, M.A., 2020. Effects of silicon nanoparticles on growth and physiology of wheat in cadmium-contaminated soil under different soil moisture levels. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27 (5), 4958–4968;
- Liu, L., Zhang, Q., Hu, L., Tang, J., Xu, L., Yang, X., Yong, J.W.H., Chen, X., 2012. Legumes can increase cadmium contamination in neighboring crops. *Plos One* 7, e42944;
- Marques, AP, Rangel, AO, Castro, PM, 2009. Remediasi logam berat tanah yang terkontaminasi: fitoremediasi sebagai teknologi pembersihan yang berpotensi menjanjikan. *Kritik. Pdt. Lingkungan. Sains*;
- Palansooriya, K.N., Shaheen, S.M., Chen, S.S., Tsang, D.C., Hashimoto, Y., Hou, D., Ok, Y. S., 2020. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: a critical review. *Environ. Int.* 134, 105046;
- Qin, G.W., Niu, Z.D., Yu, J.D., Li, Z.H., Ma, J.Y., Xiang, P., 2021. Soil heavy metal pollution and food safety in China: Effects, sources and removing technology. *Chemosphere* 267, 129205;
- Ranskin, dkk. 1997. *Phytoremediation of Metals: Using Plants to Remove Pollutants from the Environment Current Opinion in Biotechnology*. Skotlandia: University of Aberdeen;
- Sani, M.N.H., Amin, M., Siddique, A.B., Nasif, S.O., Ghaley, B.B., Ge, L., Wang, F., Yong, J.W.H., 2023. Waste-derived nanobiochar: a new avenue towards sustainable agriculture, environment, and circular bioeconomy. *Sci. Total Environ.* 905, 166881;
- Shaghaleh, H., Azhar, M., Zia-ur-Rehman, M., Hamoud, Y.A., Hamad, A.A.A., Usman, M., Rizwan, M., Yong, J.W.H., Alharby, H.F., Al-Ghamdi, A.J., Alharbi, B.M., 2024. Effects of agro-based organic amendments on growth and cadmium uptake in wheat and rice crops irrigated with raw city effluents: Three years field study. *Environ. Pollut.* 344, 123365;
- Shanying, H., Xiaoe, Y., Zhenli, H., Baligar, V.C., 2017. Morphological and physiological responses of plants to cadmium toxicity: a review. *Pedosphere* 27 (3), 421–438;
- Shi, T., Wang, Y., 2021. Heavy metals in indoor dust: spatial distribution, influencing factors, and potential health risks. *Sci. Total Environ.* 755, 142367;
- Shuttleworth. 2009. *What is a Literature Review?* Retrieved from <http://explorable.com/what-is-a-literature-review>;

- Tang, Y., Xie, Y., Sun, G., Tan, H., Lin, L., Li, H., Liang, D., 2018. Cadmium-accumulator straw application alleviates cadmium stress of lettuce (*Lactuca sativa*) by promoting photosynthetic activity and antioxidative enzyme activities. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25 (30), 30671–30679;
- Tiwari, R.K., Lal, M.K., Naga, K.C., Kumar, R., Chourasia, K.N., Subhash, S., Sharma, S., 2020. Emerging roles of melatonin in mitigating abiotic and biotic stresses of horticultural crops. *Sci. Hortic.* 272, 109592;
- Thind, S., Hussain, I., Ali, S., Hussain, S., Rasheed, R., Ali, B., Hussain, H.A., 2020. Physiological and biochemical bases of foliar silicon-induced alleviation of cadmium toxicity in wheat. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 20 (4), 2714–2730;
- Tow, T.S.W., Eng, Z.X., Wong, S.P., Ge, L., Tan, S.N., Yong, J.W.H., 2019. *Axonopus compressus* (Sw.) Beauv.: A potential biomonitor for molybdenum in soil pollution. *Int. J. Phytoremed.* 20, 1363–1368;
- van der Ent, A., Baker, A.J., Reeves, R.D., Pollard, A.J., Schat, H., 2013. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: facts and fiction. *Plant Soil* 362, 319–334;
- Wang, Q., Garrity, G.M., Tiedje, J.M., Cole, J.R., 2007. Naive Bayesian classifier for rapid assignment of rRNA sequences into the new bacterial taxonomy. *Appl. Environ. Microbiol.* 73 (16), 5261–5267;
- Wu, S., Wang, Y., Zhang, J., Gong, X., Zhang, Z., Sun, J., Wang, Y., 2021. Exogenous melatonin improves physiological characteristics and promotes growth of strawberry seedlings under cadmium stress. *Horticult. Plant J.* 7 (1), 13–22;
- Yang, C., Qiu, W.W., Chen, Z.X., Chen, W.Y., Li, Y.F., Zhu, J.L., Rahman, S.U., Han, Z.X., Jiang, Y., Yanf, G.J., Tian, J., Ma, Q., Zhang, Y., 2020. Phosphorus influence Cd phytoextraction in *Populus* stems via modulating xylem development, cell wall Cd storage and antioxidant defense. *Chemosphere* 242, 125154. H;
- Yong, J.W.H., Tan, S.N., Ng, Y.F., Low, K.K.K., Peh, S.F., Chua, J.C., Lim, A.A.B., 2010. Arsenic hyperaccumulation by *Pteris vittata* and *Pityrogramma calomelanos*: A comparative study of uptake efficiency in arsenic treated soils and waters. *Water Sci. Technol.* 61, 3041–3049;
- Zine, H., Midhat, L., Hakkou, R., Adnani, M.E., Ouhammou, A., 2020. Guidelines for a phytomanagement plan by the phytostabilization of mining wastes. *Sci. Afr.* 10, e00654.