

Hasil sidik ragam pada berat segar tanaman menunjukkan berat segar tanaman tidak berbeda nyata pada setiap perlakuan pemberian pupuk silika disajikan pada tabel 6. Grafik perlakuan silika pada gambar 4.2 menunjukkan berat segar tanaman S0 (Tanpa pemberian pupuk silika) sebesar 29,02 sedangkan perlakuan lainnya menghasilkan berat segara tanaman 29,10 untuk perlakuan S1 (pupuk silika 3 gram/3kg) dan 29,20 untuk perlakuan S2 (Pupuk silika 6 gram/3kg), hanya memiliki pertambahan berat segar tanaman dengan rentang nilai 0.18. Meskipun pemberian silika pada selada yang tercekam cadmium tidak berbeda nyata namun pada gambar tersebut menunjukkan peningkatan positif pada kenaikan berat segar tanaman.

Keterlibatan kedua bahan ini dalam meningkatkan berat segar tanaman menunjukkan bahwa meskipun hasilnya tidak terlalu mencolok namun memiliki potensi untuk meningkatkan produktivitas tanaman secara keseluruhan dalam jangka waktu yang lebih lama. Hal ini diduga terjadi karena adanya senyawa organik volatil dari struktur pori biochar yang masih kurang berkembang yang dihasilkan selama proses pirolisis biochar, sehingga tanaman mengalami kondisi stres dari senyawa tersebut dan berpengaruh terhadap berat segar tanaman. Penggunaan biochar dan silika tidak hanya berpotensi mengurangi bioavailabilitas *Cadmium* tetapi juga dapat memperbaiki kesehatan tanah dan meningkatkan kesuburan (Gale *et al.*, 2016).

#### **4.3 Pengaruh Perlakuan Biochar dan Silika Terhadap Logam Cadmium**

Kontaminan logam berat cadmium pada tanah sangat berbahaya untuk lingkungan apabila telah terakumulasi cukup banyak di tanah karena dapat mengakibatkan tanaman keracunan. Terlebih menurut Mostafidy *et al.*, (2021) laju adsorpsi dan akumulasi kadmiun pada sayuran umbi lebih banyak daripada sayuran berdaun. Hal ini disebabkan oleh tanah yang tercemar masuk dan mengumpul lebih banyak pada umbi-umbian yang berada di dalam tanah daripada tanaman lain. Hasil sidik ragam menunjukkan perlakuan silika pada Cd Tanah tidak berbeda nyata sedangkan Cd tanaman menunjukkan hasil berbeda nyata. Hasil pengamatan pemberian pupuk silika terhadap Cd Tanah dan Cd tanaman dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 7. Hasil rata-rata perlakuan biochar terhadap Cd Tanah dan CD

Tamaman		
Perlakuan	Cd Tanah (ppm)	Cd Tanaman (ppm)
P0	1.88	0.78a
P1	2.39	1.02b
P2	2.70	0.65a
P3	1.96	0.47a
BNT	ns	0.39*

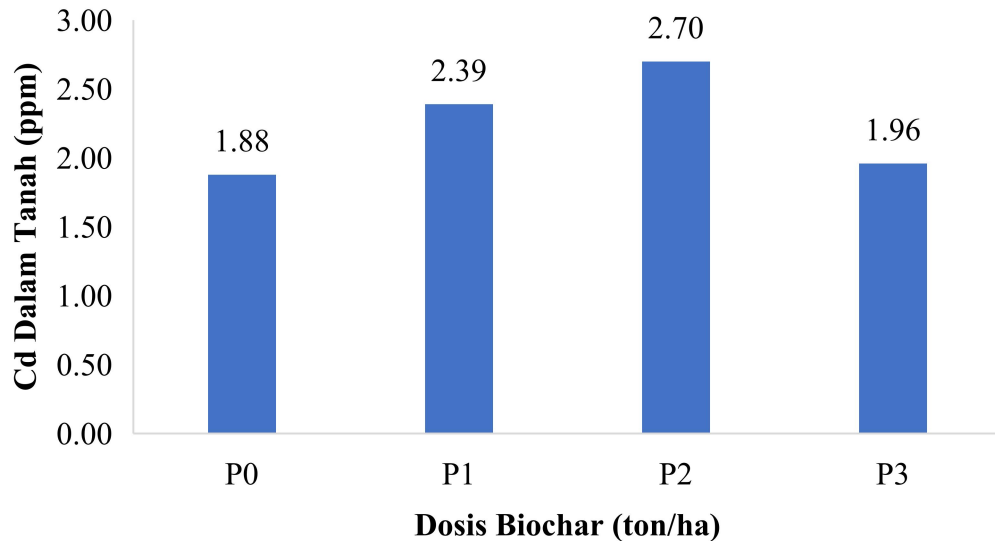
Keterangan; \*\* Berbeda Sangat Nyata, \* Berbeda Nyata, <sup>ns</sup> Berbeda Tidak Nyata

Berdasarkan tabel diatas tanpa perlakuan biochar (P0) memberikan hasil Cd Tanah 1.88, diikuti perlakuan pemberian biochar P1 (biochar sekam padi 15 ton/ha) yaitu 2.39, P2 (biochar sekam padi 30 ton/ha) yaitu 2.70 dan P3 (biochar sekam padi 45 ton/ha) yaitu 1.96. Hasil uji BNT menunjukkan bahwa perlakuan biochar tidak berbeda nyata terhadap Cd Tanah.

Penggunaan biochar sekam padi sebagai amandemen tanah dalam mengurangi kandungan Cd di tanah menunjukkan bahwa perlakuan tersebut memberikan hasil tidak signifikan dalam menurunkan kandungan Cd tanah secara drastis. Penggunaan biochar sekam padi pada dosis 45 ton/ha (P3) memberikan hasil penurunan yang lebih rendah daripada dosis yang lebih rendah, ini sejalan dengan penelitian (Mansoor *et al.*, 2021) bahwa dosis biochar yang lebih tinggi cenderung lebih efektif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi tanah terhadap logam berat termasuk Cd.

Tabel 7 diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi pemberian biochar sekam padi maka Cd dalam tanah semakin berkurang. Serupa dengan Sun *et al.* (2020) bahwa pengaplikasian biochar mampu menurunkan kadmium sekitar 0,3 – 20,1 %. Hal ini di dasari oleh sifat biochar sebagai material berpori tinggi yang mampu meningkatkan kapasitas penjerapan logam berat seperti Cd. Hal lain yang mempengaruhi kandungan cadmium dalam tanah tidak turun secara signifikan yaitu tergantung dari kualitas biochar yang digunakan, menurut Hidayat (2015) biochar yang diproduksi dengan suhu tinggi relatif memiliki luas permukaan yang tinggi sehingga baik untuk penjerapan logam berat dan memiliki gugus fungsional yang sedikit, sedangkan biochar yang diproduksi dengan suhu rendah yang belum mencapai karbonisasi sempurna relatif memiliki lebih banyak gugus fungsional dan unsur hara yang mampu meningkatkan kesuburan tanah. Perlakuan pemberian biochar menunjukkan tidak berpengaruh nyata terhadap Cd

tanah tetapi berpengaruh nyata terhadap Cd tanaman, hal tersebut menegaskan bahwa mekanisme biochar yang utama bukan menurunkan cd total, melainkan mengimobilisasi Cd dan menurunkan fraksi bivariable sehingga serapan oleh tanaman akan berkurang.



Gambar 4.3 Grafik Rata-Rata Cd Dalam Tanah pada Pemberian Biochar

Keterangan :

(P0) Tanpa pemberian biochar sekam padi 0 ton/ha

(P1) Pemberian biochar sekam padi 15 ton/ha

(P2) Pemberian biochar sekam padi 30 ton/ha

(P3) Pemberian biochar sekam padi 45 ton/ha

Pada perlakuan biochar terhadap Cd tanaman (Tabel 7) menunjukkan hasil uji BNT memberikan pengaruh terhadap Cd tanaman. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rata-rata kandungan Cadmium setelah perlakuan P1 (biochar sekam padi 15 ton/ha) menunjukkan nilai rata-rata tertinggi yaitu 1,02 dan berbeda nyata dengan perlakuan P3 (biochar sekam padi 45 ton/ha) yang memiliki nilai rata-rata terendah yaitu 0,47. Sementara itu perlakuan P0 (tanpa perlakuan biochar) dan P2 (biochar sekam padi 30 ton/ha) tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Pada dosis yang rendah yaitu P1, pemberian biochar sekam padi 15 ton/ha, biochar belum mampu memiliki kapasitas dari adsorpsi yang cukup untuk mengikat ion Cd yang ada dalam tanah. Akibatnya, ketersediaan Cd dalam tanah

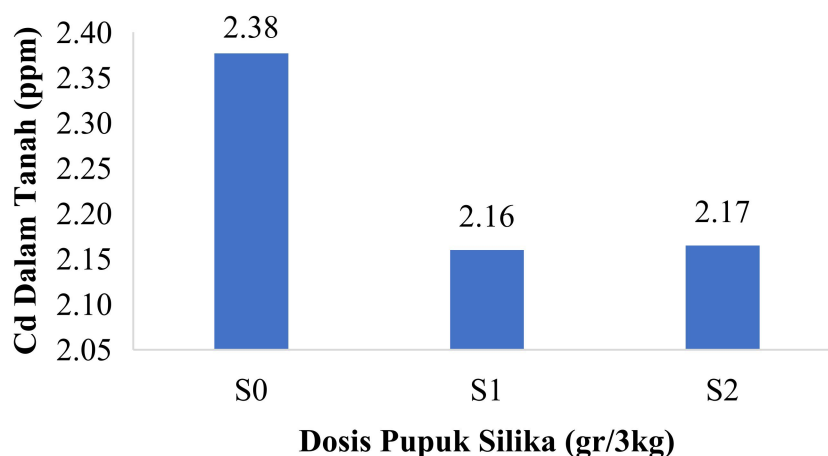
mudah diserap oleh akar tanaman. Hal ini terjadi karena adanya konduktivitas listrik yaitu indikasi alkalinitas dan pelepasan garam ke dalam larutan tanah, sehingga pH cenderung meningkat sehingga penyerapan cadmium turut meningkat (Addai *et al.*, 2023). Dalam hal ini biochar tidak hanya berfungsi sebagai pengikat logam berat tetapi juga mempengaruhi kondisi tanah yang dapat berkontribusi pada akumulasi logam berat dalam jaringan tanaman. Lebih lanjut Murtaza *et al.* (2023), dalam penelitiannya mengatakan bahwa biochar dapat menurunkan bioavailabilitas *cadmium* melalui adsorpsi, mekanisme ini dipengaruhi oleh volume pori, energi permukaan dan luas permukaan biochar. Semakin tinggi suhu yang digunakan dalam pembuatan biochar maka akan mengandung volume pori dan luas permukaan yang lebih besar sehingga mampu menyerap logam berat lebih efektif. Oleh karena itu pemilihan biochar perlu diperhatikan dari mulai memilih bahan baku yang sesuai dengan suhu produksi yang tinggi.

Tabel 8. Hasil rata-rata perlakuan silika terhadap Cd Tanah dan Cd Tanaman

Perlakuan	Cd Tanah (ppm)	Cd Tanaman (ppm)
S0	2.38	0.91
S1	2.16	0.74
S2	2.17	0.55
BNT	ns	ns

Keterangan; \*\* Berbeda Sangat Nyata, \* Berbeda Nyata, <sup>ns</sup> Berbeda Tidak Nyata

Berdasarkan tabel 8 diatas, perlakuan silika memberikan hasil BNT tidak berbeda nyata terhadap Cd Tanah dan Cd Tanaman. Hasil perlakuan tanpa pemberian silika pada Cd tanah dengan perlakuan tanpa silika (S0) memberikan hasil Cd Tanah 02.38, diikuti perlakuan S1 (Pupuk silika 3 gram/3kg) yaitu 2.16, S2 (Pupuk silika 6 gram/3kg) yaitu 2.17.



Gambar 4.4 Grafik Rata-Rata Cd dalam Tanah pada Pemberian Silika

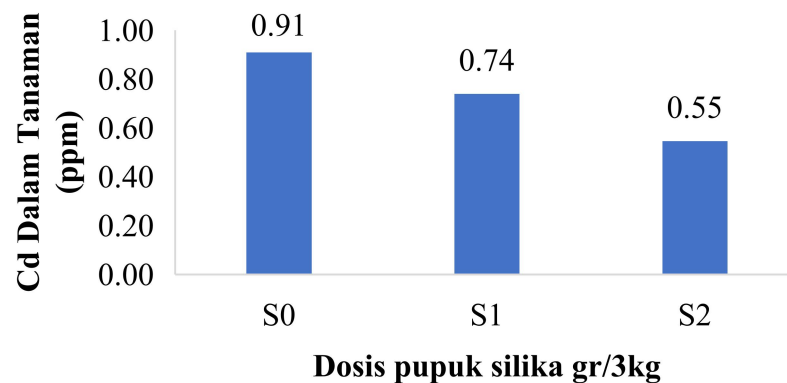
Keterangan :

(S0) Tanpa pemberian pupuk silika

(S1) Pupuk silika 3 gram/3kg

(S2) Pupuk silika 6 gram/3kg

Perlakuan dengan pupuk silika dosis tertinggi 3 gr/L (S2) memberikan hasil penurunan Cd terendah sebesar 2.16 tetapi tetap tidak signifikan. Nilai tersebut masih menjadi paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan sekam padi. Silika melindungi tanaman melalui mekanisme pengendapan di jaringan tanaman, khususnya di dinding sel dan vakuola. Kinerja silika dalam menurunkan konsentrasi Cd dalam tanah juga tergantung pada interaksi antara silika dengan unsur lain di dalam tanah. Silika berinteraksi dengan unsur-unsur seperti kalsium dan magnesium yang juga mempengaruhi dinamika ketersediaan logam berat dalam tanah. Termasuk juga interaksi dengan polisakarida seperti selulosa dan hemiselulosa yang memperkuat struktur dinding sel. Modifikasi ini juga merangsang sintesis dan metabolisme komponen dinding sel sekunder seperti lignin yang berperan memperkuat sel dan mengurangi pergerakan pengikatan Cd ke dalam protoplas (Guo *et al.*, 2022). Dengan adanya modifikasi tersebut, kapasitas pengikatan Cd pada dinding sel meningkat sehingga mengurangi jumlah Cd yang dapat berpindah ke jaringan tanaman lainnya. Selain itu aplikasi Si juga mengatur ekspresi gen yang berperan dalam detoksifikasi ROS dan proses fotosintesis.



Gambar 4.5 Grafik Rata-Rata Cd Tanaman pada Pemberian Silika

Dari hasil percobaan pengaplikasian silika dengan dosis 6 g/L memberikan hasil terbaik dalam menurunkan kandungan *Cadmium* dalam jaringan tanaman. Dosis ini menunjukkan bahwa aplikasi silika pada konsentrasi yang tepat dapat memaksimalkan manfaatnya dalam menanggulangi akumulasi *Cadmium* disamping menghindari potensi toksisitas yang mungkin timbul dari penggunaan silika dalam jumlah yang terlalu tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa silika dapat berperan dalam meningkatkan stabilitas tanah dan memperbaiki struktur tanah sehingga membantu menurunkan bioavailabilitas *Cadmium*.

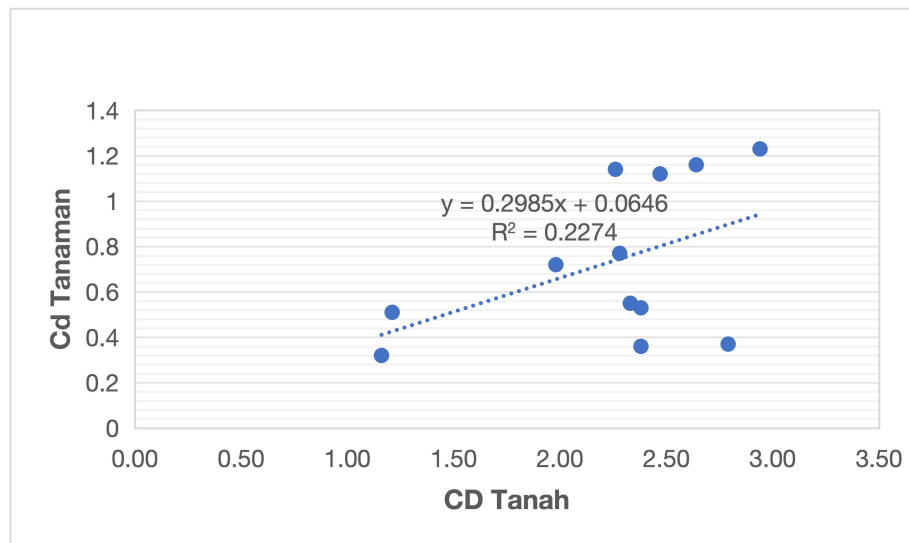
Hal lainnya yang diduga menyebabkan efek pemberian pupuk silika terhadap cekaman cadmium menjadi kurang terlihat secara signifikan pada parameter ini, dikarenakan adanya penggunaan pupuk NPK pada media tanam. Penelitian Wang *et al.*, (2019), menjelaskan bahwa penambahan pupuk NPK memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman namun juga meningkatkan akumulasi cadmium, melalui aktivitas enzim tanah pada kondisi cekaman cadmium. Selain itu, akumulasi *cadmium* pada jaringan tanaman telah diketahui bervariasi dikarenakan adanya beberapa faktor termasuk kultivar, reaksi tanah, tekstur tanah serta konsentrasi cadmium yang tersedia secara hayati (Lv. *et al.*, 2021). Variasi dalam akumulasi *Cadmium* ini menunjukkan bahwa respon tanaman terhadap logam berat dapat berbeda-beda tergantung pada kondisi lingkungan dan genetik tanaman itu sendiri. Beberapa kultivar mungkin memiliki mekanisme pertahanan yang lebih baik terhadap stres logam berat dibandingkan yang lain sehingga mempengaruhi tingkat akumulasi *Cadmium* dalam jaringan.

#### 4.4 Hubungan Antar Parameter Logam Berat

Tabel 9. Hasil rata-rata pengaruh perlakuan biochar dan silika terhadap Cd Tanah dan Cd Tanaman

Perlakuan	Cd Tanah	Cd Tanaman
P0S0	1.98	0.72
P0S1	2.47	1.12
P0S2	1.21	0.51
P1S0	2.26	1.14
P1S1	2.64	1.16
P1S2	2.28	0.77
P2S0	2.94	1.23
P2S1	2.38	0.36
P2S2	2.79	0.37
P3S0	2.33	0.55
P3S1	1.16	0.32
P3S2	2.38	0.53

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan hasil perlakuan biochar P dengan kadar terendah berada pada P3S1 yaitu sebesar 1.16 ppm dan tertinggi pada P2S0 yaitu 2.94 ppm. Sedangkan pada Cd Tanaman terendah pada P3S1 yaitu sebesar 0.32 ppm dan tertinggi pada P2S0 yaitu 1.23 ppm. Kedua pengaruh perlakuan tersebut berada pada perlakuan yang sama.



Gambar 4.6 Grafik Regresi anatar Cd Tanah (x) dan Cd Tanaman (y)

Hasil dari analisis grafik regresi diatas menunjukkan koefisien regresi 0.2985 (positif) artinya pada setiap kenaikan satu satuan Cd di tanah cenderung diikuti dengan kenaikan kadar Cd pada tanaman sebesar kurang lebih 0.2985 satuan. Nilai ini menunjukkan angka positif dengan hubungan searah. Nilai koefisien determinasi  $R^2$  menunjukkan bahwa variasi kada Cd di tanah hanya menjelaskan sekitar 22.74 % variasi kadar Cd tanaman, untuk sisanya 77.26 % dipengaruhi oleh faktor lain. Pada titik titik data cukup menyebar jauh dari garis regresi / tren yang di konfirmasi oleh nilai  $R^2$  yang relatif rendah.

## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan kesimpulan yang dapat ditarik yaitu,

1. Kombinasi perlakuan pemberian Biochar (P) dan silika (S) tidak memberikan hasil yang berbeda nyata, tetapi pada masing-masing faktor Biochar (P) dan silika (S) memberikan hasil yg nyata pada tinggi dan jumlah daun.
2. Kombinasi perlakuan pemberian Biochar (P) dan silika (S) tidak memberikan interaksi hasil yang berbeda nyata pada kandungan Cd dalam tanah maupun Cd pada tanaman.
3. Hubungan perlakuan pemberian Biochar (P) dan silika (S) memberikan hasil yang positif.

### 5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pemilihan biochar dari mulai pemilihan bahan baku yang sesuai dan penggunaan suhu yang tepat.
2. Perlu adanya kajian lebih lanjut dan uji lapang jangka panjang untuk mengetahui respon tanaman selada yang tercekam *Cadmium* sehingga peran sekam padi, pupuk silika, tanah dan mikroorganisme dapat berintergrasi terhadap produktivitas tanah dalam mendukung pertanian berkelanjutan.
3. Masyarakat dapat melakukan penanaman selada secara organik dan menggunakan bantuan mikroorganisme cacing dalam membantu untuk menghindari paparan cadmium pada daerah - daerah berdekatan dengan penghasil cadmium seperti pabrik kompos, pembuangan sampah plastik dan lain-lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adebajo, S. O., F. Oluwatobi, F., Akintokun, P. O., Ojo, A. E., Akintokun, A. K., & Gbodope, I. S. 2022. Impacts of rice-husk biochar on soil microbial biomass and agronomic performances of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientific Reports*, 12(1), 1787. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05757-z>
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., & Ok, Y. S. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>
- Ahmed S, Fatema-Tuj-Zohra, Mahdi MM, Nurnabi M, Alam MZ, Choudhury TR. Health risk assessment for heavy metal accumulation in leafy vegetables grown on tannery effluent contaminated soil. *Toxicol Rep.* 2022 Mar 10;9:346-355. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.03.009>
- Al Huqail, A. A., Kumar, P., Eid, E. M., Adelodun, B., Fayssal, A. A., Singh, J., Arya, A. K., Goala, M., Kumar, V., Siric, I. 2022. Risk Assessment of Heavy Metals Contamination in Soil and Two Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties Irrigated with Paper Mill Effluent. *Agriculture*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture12111864>
- Alloway, B. J. (2012). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their* - Google Buku (3th ed.). [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=Soovc\\_GOk48C&oi=fnd&pg=PR5&dq=alloway+1995+heavy+metals+in+soils&ots=RH5M\\_WpovT&sig=1wX8lqRcy7oSqvsdifxTmfL8XvU&redir\\_esc=y#v=onepage&q=alloway+1995heavy+metals+in+soils&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=Soovc_GOk48C&oi=fnd&pg=PR5&dq=alloway+1995+heavy+metals+in+soils&ots=RH5M_WpovT&sig=1wX8lqRcy7oSqvsdifxTmfL8XvU&redir_esc=y#v=onepage&q=alloway+1995heavy+metals+in+soils&f=false)
- Alsafran, M., Saleem, M.H., Al Jabri, H. et al. Principles and Applicability of Integrated Remediation Strategies for Heavy Metal Removal/Recovery from Contaminated Environments. *J Plant Growth Regul* 42, 3419–3440 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10803-1>
- Artyszak A. 2018. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality-A Literature Review in Europe. *Plants* (Basel). [doi: 10.3390/plants7030054](https://doi.org/10.3390/plants7030054)
- Aslam, M. M., Okal, E. J., and Waseem, M. 2023. *Cadmium* toxicity impacts plant growth and plant remediation strategies. *Plant Growth Regulation*, 99: 397-412. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00917-7>
- Asfar, A. M. I. A., Asfar, A. M. I. A., Thaha, S., Kurnia, A., Nurannisa, A., and Dewia, S. S. 2021. *Transformasi Sekam Padi (Pirolisis)*. CV Jejak: Sukabumi.
- Asadi, H., Ghorbani, M., Rezaei-Rashti, M., Abrishamkesh, S., Amirahmadi, E., Chengrong, C. H. E. N., & Gorji, M. 2021. Application of rice husk biochar for achieving sustainable agriculture and environment. *Rice Science*, 28(4), 325-343. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2021.05.004>

- Azhar, M., ur Rehman, M. Z., Ali, S., Qayyum, M. F., Naeem, A., Ayub, M. A., ul Haq, M. A., Iqbal, A., Rizwan, M. 2019. Comparative Effectiveness of Different Biochars and Conventional Organic Materials on Growth, Photosynthesis and Cadmium Accumulation in Cereals. *Chemosphere*, 277:72-81. doi: [10.1016/j.chemosphere.2019.04.041](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.041).
- Azzi, V., Kanso, A., Kazpard, V., Kobeissi, A., Lartiges, B., and El Samrani, A. 2017. *Lactuca sativa* growth in compacted and non-compacted semi-arid alkaline soil under phosphate fertilizer treatment and Cadmium contamination. *Soil & Tillage Research*, 165: 1-10. <https://hal.science/hal-02265691v1>
- Bhat, J. A., Shivaraj, S. M., Singh, P., Navadagi, D. B., Tripathi, D. K., Dash. P. K., Solanke, A. U., Sonah, H., and Deshmukh, R. 2019. Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants. *Plants*, 8 (3): 71. <https://doi.org/10.3390/plants8030071>
- Bora, M. S., and Sarma, K. P. 2021. Anatomical and ultrastructural alterations in *Ceratopteris pteridoides* under *Cadmium* stress: A mechanism of *Cadmium* tolerance. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 218, 112285. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112285>
- Tu, C., Wei, J., Guan, F., Liu, Y., Sun, Y., and Luo, Y. 2020. Biochar and bacteria inoculated biochar enhanced Cd and Cu immobilization and enzymatic activity in a polluted soil. *Environ. Int.*, 137(2). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105576>
- Chen K. S., Chun-Yu Pai, Hung-Yu Lai. 2020. Amandement of Husk Biochar on Accumulation and Chemical Form of Cadmium in Lettuce and Pak-Choi Grown in Contaminated Soil. *Water*, Vol.12 (3). <https://doi.org/10.3390/w12030868>
- Clemens, S., & Feng, J. M. 2016. Toxic heavy metal and metalloid accumulation in crop plants and foods. *Annual review of plant biology*, 67, 489-512. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112301>
- Dong, Q., Fang, J., Huang, F., and Cai, K. 2019. Silicon amendment reduces soil Cd availability and Cd uptake of two *Pennisetum* species. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (9): 1624. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091624>
- Ebido, N. E., Edeh, I. G., Unagwu, B. O., Nnadi, A. L., Ozongwu, O. V., Obalum, S. E., Igwe, C. A. 2021. Rice-Husk Biochar Effects on Organic Carbon, Aggregate Stability and Nitrogen-Fertility of Coarse-Textured Ultisols Evaluated Using *Celosia Argentea* Growth. *SAINS TANAH – Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 18(2):177-187. <https://dx.doi.org/10.20961/stjssa.v18i2.56330>
- Ekawati, C. J. K. 2023. *Alternatif Bahan Baku Arang Aktif*. Rena Cipta Mandiri: Malang.

- El Rasafi, T., Oukarroum, A., Haddioui, A., Song, H., Kwon, E. E., Bolan, N., Tack, F. M. G., Sebastian, A., Prasad, M. N. V., and Rinklebe, J. 2020. Cadmium stress in plants: A critical review of the effects, mechanisms, and tolerance strategies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1-52. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1835435>
- Erdem, H. 2021. The effects of biochars produced in different pyrolysis temperatures from agricultural wastes on *Cadmium* uptake of tobacco plant. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(7), 3965-3971. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.016>
- Fang, H. W., Li, W. S., Tu, S. X., Ding, Y. Z., Wang, R. G., Rensing, C., Li, Y. P., Feng, R. W. 2019. Differences in *Cadmium* absorption by 71 leaf vegetable varieties from different families and genera and their health risk assessment. *Journal Ecotoxicology and Environmental Safety*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109593>
- Farooq, A., M. Nadeem., G. Abbas., A. Shabbir., M. S. Khalid., H. M. R. Javeed., and G. Akhtar. 2020. *Cadmium* partitioning, physiological and oxidative stress responses in marigold (*Calendula calypso*) grown on contaminated soil: Implications for phytoremediation. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105: 270-276. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02934-6>
- Freister W.E, Oliveira AB, Mesquita RO, Carvalho HH, Prisco JT, Filho EG. 2019. Sulfur-induced salinity tolerance in lettuce is due to a better P and K uptake, lower Na/K ratio and an efficient antioxidative defense system. *Scientia Horticulturae*, 257: 108764. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108764>
- Gao, H. 2022. Method of improving the conversion of *Cadmium*-containing plant biomass energy under the background of soil pollution. *Energy Reports*, 8: 10803-10811. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.08.173>
- Gale Nigel V., Md Abdul Halim, Mark Horsburgh, Sean C. Thomas. 2016. Comparative responses of early-successional plants to charcoal soil amendments. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1933>
- [GBIF] Global Biodiversity Information Facility. 2021. GBIF Backbone Taxonomy: *Lactuca sativa* L. [Internet]. [diakses 2022 Mei 9]. Tersedia di: <https://doi.org/10.15468/39omei>
- Greger, M., T. Landberg., and M. Vaculík. 2018. Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. *Plants*, 7(2), 41. <https://doi.org/10.3390/plants7020041>
- Greger, M., A. H. Kabir., T. Landberg., P. J. Maity., and S. Lindberg. 2016. Silicate reduces *Cadmium* uptake into cells of wheat. *Environmental Pollution*, 211: 90-97. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2015.12.027>

- Guo Jingyi, Daihua Ye, Xizhuo Zhang, Huagang Huang, Yongdong Wang, Zicheng Zheng, Tingxuan Li, Haiying Yu. 2022. Characterization of Cadmium Accumulation in the Cell Walls of Leaves in a Low-Cadmium Rice Line and Strengthening by Foliar Silicon Application. *Chemosphere*, Vol.287 (4). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132374>
- Haider, F. U., C. Liqun, J. A. Coulter, S. A. Cheema, J. Wu, R. Zhang, M. Wenjun, M. Farooq. 2021. *Cadmium* toxicity in plants: impact and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211(2021): 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>
- Hamzah, A., Hapsari, R, I. 2017. Remediasi lahan pertanian yang tercemar logam berat untuk menghasilkan produk pangan yang sehat. *Jurnal Unikama*, 5(1): 134-139. <https://repository.upnjatim.ac.id/5/4/Remediasi.pdf>
- Hapsari, A. T., S. Darmanti, E. D. Hastuti. 2018. Pertumbuhan Batang, Akar dan Daun Gulma Katumpangan (*Pilea microphylla* (L.) Liebm.) *Buletin Anatomi dan Fisiologi*,3(1): 79-84. <https://doi.org/10.14710/baf.3.1.2018.79-84>
- Haque, M. M., Niloy, N. M., Khirul, M. A., Alam, M. F., & Tareq, S. M. (2021). Appraisal of probabilistic human health risks of heavy metals in vegetables from industrial, non-industrial and arsenic contaminated areas of Bangladesh. *Heliyon*, 7(2), 6309. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06309>.
- Hayat, M. T., M. Nauman., N. Nazir., S. Ali, and N. Bangash. 2019. Environmental Hazards of *Cadmium*: Past, Present, and Future. *Physiology to Remediation* : 163-183. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00007-3>.
- Hassan, M. J., M. A. Raza, S. U. Rehman, M. Ansar, H. Gitari, I. Khan, M. Wajid, M. Ahmed, G. A. Shah, Y. Peng, and Z. Li. 2020. Effect of Cadmium Toxicity on Growth, Oxidative Damage, Antioxidant Defense System and Cadmium Accumulation in Two Sorghum Cultivars. *Plants*, 9(1575). <https://doi.org/10.3390/plants9111575>
- Hidayat, B. 2015. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Menggunakan Biochar. *Jurnal Pertanian Tropik* vol 2, No. 1 April 2015 (7) : 31-41. <https://doi.org/10.32734/jopt.v2i1.2878>
- Huang, H., R. Lu., J. Zhan., J. He., Y. Wang., and T Li. 2023. Role of Root Exudates in *Cadmium* Accumulation of a Low-*Cadmium*-Accumulating Tobacco Line (*Nicotiana tabacum* L.). *Toxics*, 11 (141): 1-11. <https://doi.org/10.3390/toxics11020141>
- Hussain, A., M. Rizwan., Q. Ali., and S. Ali. 2019. Seed priming with silicon nanoparticles improved the biomass and yield while reduced the oxidative stress and *Cadmium* concentration in wheat grains. *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (8): 7579-7588. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04210-5>.

- Irshad, M. K., Noman, A., Alhathloul, H. A. S., Adeel, M., Rui, Y. K., Shah, T., et al. (2020). Goethite-modified biochar ameliorates the growth of rice (*Oryza sativa* L.) plants by suppressing cd and as-induced oxidative stress in cd and As co-contaminated paddy soil. *Sci. Total Environ.* 717:137086. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137086.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137086>
- Islam, S., K. Ahmed., H. Al-Mamun., and M. Raknuzzaman. 2015. The concentration, source and potential human health risk of heavy metals in the commonly consumed foods in Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122: 462-469.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.022>
- Ismael, M. A., Elyamine, A. M., Moussa, M. G., Cai, M., Zhao, X., & Hu, C. 2019. *Cadmium* in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics*, 11(2), 255-277.  
<https://doi.org/10.1039/c8mt00247a>
- Ismail, H., E. Dilshad., M. T. Waheed., and B. Mirza. 2017. Transformation of Lettuce with rol ABC Genes: Extracts Show Enhanced Antioxidant, Analgesic, Anti-Inflammatory, Antidepressant, and Anticoagulant Activities in Rats. *Appl Biochem Biotechnol*, 181: 1179-1198.  
<https://doi.org/10.1007/s12010-016-2277-3>
- Iskandar, T., Suhudi., A. Mukhtar., Widowati., and Wirawan. 2016. *Modul Pelatihan Pyrolysis Biomassa Sekam Padi*. Media Nusa Creative: Malang.
- Kalaivanan, D.; Ganeshamurthy, A.N. 2016. Mechanisms of heavy metal toxicity in plants. In *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*; Springer: Berlin, Germany; pp. 85–102. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2725-0>
- Khan *et al.* 2021. Effects of silicon on heavy metal uptake at the soil-plant interphase: A review. *Journal Ecotoxicology and Environmental Safety*.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112510>
- Kumar, P. S., K. Ramaskrishnan., S. D. Kirupha., and S. Sivanesan. 2010. Thermodynamic And Kinetic Studies Of *Cadmium* Adsorption From Aqueous Solution Onto Rice Husk. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27(2): 347-355.  
<https://doi.org/10.1590/S0104-66322010000200013>
- Kuriakose, S. V., and M. N. V. Prasad. 2008. *Cadmium* stress affects seed germination and seedling growth in *Sorghum bicolor* (L.) Moench by changing the activities of hydrolyzing enzymes. *Plant Growth Regul*, 54: 143-156. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9237-4>
- Lavres, J., Rabêlo, F. H. S., Capaldi, F. R., Dos Reis, A. R., Rosssi, M. L., Franco, M. R., ... and de Lima Nogueira, N. 2019. Investigation into the relationship among Cd bioaccumulation, nutrient composition, ultrastructural changes and antioxidative metabolism in lettuce genotypes under Cd stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170: 578-589.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.033>

- Lehmann, J., & Joseph, S. 2015. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. *Routledge*.  
[https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/11/prelim\\_ch1\\_2015biocharforenvironmentalmanagement\\_text.pdf](https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/11/prelim_ch1_2015biocharforenvironmentalmanagement_text.pdf)
- Loi, N. N., Sanzharova, N. I., Shchagina, N. I., and Mironova, M. P. 2018. The effect of *Cadmium* toxicity on the development of lettuce plants on contaminated sod-podzolic soil. *Russian Agricultural Sciences*, 44: 49-52.  
<https://doi.org/10.3103/S1068367418010111>
- Luyckx, M., J. F. Hausman., S. Lutts., and Guerriero. 2017. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. *Frontiers in plant science*, 8: 411. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>
- Lv, G., Yang, T., Chen, Y., Hou, H., Liu, X., Li, J., ... & Li, J. H. 2021. Biochar-based fertilizer enhanced Cd immobilization and soil quality in soil-rice system. *Ecological Engineering*, 171, 106396.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106396>
- Mansoor Sheikh, Navneet Kour, Sweeta Manhas, Sheikh Zahid, Owais Ali W., Vikas Sharma, Leonard Wijaya, Mohammed Nasser A., Abdulaziz A. A., Hamed A. El-Serehy, Bilal Ahmad P., Parvaiz Ahmad. 2021. Biochar as a Tool for Effective Management of Drought and Heavy Metal Toxicity. *Chemosphere*, Vol.271 : 1-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129458>
- Mostafidi, M., Shirkhan, F., Zahedi, M. T., Ziarati, P., Hochwimmer, B., Cruz-Rodriguez, L. 2021. Bioaccumulation of the Heavy Metals Contents in Green Leafy Vegetables. *Journal of Nutrition Food Science and Technology*, 2(1):1-7.  
[https://www.researchgate.net/profile/Cruz-Rodriguez-Luis/publication/351072174\\_Bioaccumulation\\_of\\_the\\_Heavy\\_Metals\\_Contents\\_in\\_Green\\_Leafy\\_Vegetables/links/6082fce2907dcf667bbd8c94/Bioaccumulation-of-the-Heavy-Metals-Contents-in-Green-Leafy-Vegetables.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cruz-Rodriguez-Luis/publication/351072174_Bioaccumulation_of_the_Heavy_Metals_Contents_in_Green_Leafy_Vegetables/links/6082fce2907dcf667bbd8c94/Bioaccumulation-of-the-Heavy-Metals-Contents-in-Green-Leafy-Vegetables.pdf)
- Murtaza Ghulam, Mohammad Valipour, M. Usma, Allah D, M. Rizwan, Ayman, M.S.E. Rashid I, Aisha I, Iftikhar A, M. Orfan A, Absullah A, Mohamed S.E. Waseem T, Awais M. 2023. Ecological and Health Risk Assessment of Cadmium Contamination in Groundwater Samples Collected from the Arid Climatic Region. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 34, No. 3 (2025), 2793-2803.  
<https://doi.10.15244/pjoes/188185>
- N. Fidiyanto and A. N. Izzati, "Penerapan Data Mining Klasifikasi Lahan Tanam Buah Alpukat dengan Algoritma Naïve Bayes," *BIOS J. Teknol. Inf. dan Rekayasa Komput.*, vol. 5, no. 2, pp. 95–103, 2024.  
<https://doi.org/10.37148/bios.v5i2.125>

- Nazar, R., N. Iqbal., A. Masood., M. I. R. Khan., S. Syeed, N. A. Khan. 2012. *Cadmium Toxicity in Plants and Role of Mineral Nutrients in Its Alleviation. American Journal of Plant Science*, 3: 1476-1489. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.310178>.
- Niño-Savala, A. G., Z. Zhuang., X. Ma., A. Fangmeier., H. Li., A. Tang., X. Liu. 2019. *Cadmium pollution from phosphate fertilizers in arable soils and crops: An overview. Front. Agric. Sci. Eng*, 6: 419-430. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019273>
- Nurhidayati, N., Ansari, A. S., Sholihah, A., & Chiangmai, P. N. (2022). Vermicompost and rice husk biochar interaction ameliorates nutrient uptake and yield of green lettuce under soilless culture. *Journal of Horticultural Research*, 30(2), 55-66. <https://doi.org/10.2478/johr-2022-0018>
- Okalia, D., Nopsagiarti, T., & Marlina, G. 2021. Pengaruh Biochar dan Pupuk Organik Cair dari Air Cucian Beras Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Selada. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 17(1): 76:82. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2021.17.1.76>
- Olle, M. 2017. The effect of silicon on the organically grown iceberg lettuce growth and quality. *Journal Agriculture Science*, 2(28): 82-86. <https://doi.org/10.15159/jas.17.06>
- Oliva, K. M. E., da Silva, F. B. V., Araújo, P. R. M., de Oliveira, E. C. A., & do Nascimento, C. W. A. 2021. Amorphous silica-based fertilizer increases stalks and sugar yield and resistance to stalk borer in sugarcane grown under field conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3), 2518-2529. <https://doi.org/10.1007/S42729-021-00543-8>
- Priyono. 2020. *Nutrisi Bagi Tanaman*. Unisri Press:Surakarta.
- Qadir, S., S. Jamshieed, S. Rasool., M. Ashraf., N. A. akram., and P. Ahmad. 2013. Modulation of Plant Growth and Metabolism in Cadmium-Enriched Environments, Review of Environmental Contamination and Toxicology, 229: 51-88. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-03777-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03777-6_4).
- Rahman, S. U., , X. Yatao, M. I. Ahmad, M. Shehzad, M. Zain. 2020. Silicon and Its Application Methods Improve Physiological Traits and Antioxidants in *Triticum aestivum* (L.) Under Cadmium Stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/S42729-020-00197-Y>
- Rahman, S. U., Q. Xuebin, G. Yasin, H. Cheng, F. Mehmood, M. Zain, M. Shehzad, M. I. Ahmad, L. Riaz, A. Rahim, S. U. Rahman. 2021. Role of Silicon on Root Morphological Characters of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Plants Grown Under Cd-contaminated Nutrient Solution. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(60). <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03228-y>

- Rehman, S., G. Abbas, M. Shahid, M. Saqib, A. B. U. Farooq, M. Hussain, A. Farooq. 2019. Effect of salinity on *Cadmium* tolerance, ionic homeostasis and oxidative stress responses in conocarpus exposed to *Cadmium* stress: Implications for phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.077>
- Rombel Bryzek, Bartosz Bojarski, Pawel S, Mateusz J B, Iryna B, Malgorzata R. The effects of cadmium on selected oxidative stress parameters and the content of photosynthetic pigments in cucumber *Cucumis sativus* L. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2024.127463>
- Santi, A. 2017. Pengaruh limbah cair tapioka terhadap pertumbuhan tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) dengan teknik hidroponik rakit apung. [https://repository.radenintan.ac.id/2679/1/Skripsi\\_Full.pdf](https://repository.radenintan.ac.id/2679/1/Skripsi_Full.pdf)
- Sarwar, N., Saifullah., S. S. Malhi., M. H. Zia., A. Neem., S. Bibi., Ghulam Farid. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing *Cadmium* accumulation by plants. *J Sci Food Agric*, 90: 925-937. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3916>
- Selvarajh, G., H. Y. Ch'ng, N. M. Zain, P. Sannasi, and S. N. H. M. Azmin. 2021. Improving Soil Nitrogen Availability and Rice Growth Performance on a Tropical Acid Soil via Mixture of Rice Husk and Rice Straw Biochars. *Appl. Sci.*, 11(108). <https://doi.org/10.3390/app11010108>
- Shaneen, N., N. Irfan., I. N. Khan., S. Islam., and K. Ahmed. 2016. Presence of heavy metals in fruits and vegetables: Health risk implications in Bangladesh. *Chemosphere*, 152: 431-438. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.060>
- Silva Gonzaga, M. I., Oliveira da Silva, P. S., de Jesus, C., Santos, J., de Oliveira, G., and Junior, L. F. 2019. Biochar increases plant water use efficiency and biomass production while reducing cu concentration in *Brassica juncea* L. in a cu-contaminated soil. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 183:109557. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109557>
- Singh, S., and S. M. Prasad. 2015. IAA alleviates Cd toxicity on growth, photosynthesis and oxidative damages in eggplant seedlings. *Plant Growth Regul*, 77: 87-98. <https://doi.org/10.1007/S10725-015-0039-9>
- Sohail, M. I., Rehman, M. Z. U., Murtaza, G., & Wahid, M. A. 2019. Chemical investigations of Si-rich organic and inorganic amendments and correlation analysis between different chemical composition and Si contents in amendments. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4215-x>
- Sun, L., X. Cao., C. Tan., Y. Deng., R. Cai., X. Peng., and J. Bai. 2020. Analysis of the effect of *Cadmium* stress on root exudates of *Sedum plumbizincicola* based on metabolomics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111152>

- Suharyatun, Warji dan A. Haryanto. 2021. Pengaruh Kombinasi Biochar Sekam Padi dan Pupuk Organik Berbasis Mikorba Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Sayuran. *Jurnal Teknotan*. 15(1): 21-36.  
<https://doi.org/10.24198/jt.vol15n1.4>
- Sutrisno Dan Henny Kuntastyuti. 2015. Pengelolaan Cemaran Kadmium Pada Lahan Pertanian di Indonesia.
- Tang, Y., L. Wang., Y. Xie., X. Yu., H. Li., L. Lin., L. Tu., 2020. Effects of exogenous abscisic acid on the growth and *Cadmium* accumulation of lettuce under *Cadmium*-stress conditions. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 100 (6): 720-731.  
<https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1639686>
- Tayade, R., Ghimire, A., Khan, W., Lay, L., Attipoe, J. Q., & Kim, Y. 2022. Silicon as a smart fertilizer for sustainability and crop improvement. *Biomolecules*, 12(8), 1027.  
<https://doi.org/10.3390/biom12081027>
- Wang, Y. M., Tang, D. D., Zhang, X. H., Uchimiya, M., Yuan, X. Y., Li, M., & Chen, Y. Z. (2019). Effects of soil amendments on *Cadmium* transfer along the lettuce-snail food chain: Influence of chemical speciation. *Science of the Total Environment*, 649, 801-807.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.323>
- Wang, B., Xiao, L., Xu, A., Mao, W., Wu, Z., Hicks, L. C., ... & Xu, J. 2023. Silicon fertilization enhances the resistance of tobacco plants to combined Cd and Pb contamination: Physiological and microbial mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 255: 114816.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114816>
- Wei and Yang. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, 94, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.09.014>
- Xing *et al.*, "Field aging declines the regulatory effects of biochar on *Cadmium* uptake by pepper in the soil," *J. Environ. Manage.*, vol. 321, no. August, p. 115832, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115832>
- Yang, D., Guo, Z., Green, I. D., & Xie, D. 2016. Effect of *Cadmium* accumulation on mineral nutrient levels in vegetable crops: potential implications for human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 19744-19753. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7186-z>
- Yazdi, M., Kolahi, M., Kazemi, E. M., and Barnaby, A. G. 2019. Study of the contamination rate and change in growth features of lettuce (*Lactuca sativa* Linn.) in response to *Cadmium* and a survey of its phytochelatin synthase gene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180: 295-308.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.071>
- Zaman, Q. U., M. Rashid., R. Nawaz., A. Hussain., K. Ashraf., M. Latif., ... & Y. Chen. 2021. Silicon fertilization: a step towards *Cadmium*-free fragrant rice. *Plants*, 10(11): 2440. <https://doi.org/10.3390/plants10112440>

- Zhang, K. Yuan, K., Kong, W., & Yang, Z. 2013. Genotype variations in *Cadmium* and lead accumulations of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) and screening for pollution-safe cultivars for food safety. *Environmental Science Processes & Impacts*, 15, 1245-1255.  
<https://doi.org/10.1039/C3EM00158J>
- Zhao, H., Guan, J., Liang, Q., Zhang, X., Hu, H., & Zhang, J. 2021. Effects of *Cadmium* stress on growth and physiological characteristics of sassafras seedlings. *Scientific reports*, 11 (1): 9913.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-89322-0>
- Zhu, Y., Wang, H., Lv, X., Zhang, Y., & Wang, W. 2020. Effects of biochar and biofertilizer on *Cadmium*-contaminated cotton growth and the antioxidative defense system. *Scientific Reports*, 10(1), 20112.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-77142-7>
- Zong, Y., Xiao, Q., Malik, Z., Su, Y., Wang, Y., & Lu, S. 2021. Crop straw-derived biochar alleviated *Cadmium* and copper phytotoxicity by reducing bioavailability and accumulation in a field experiment of rice-rape-corn rotation system. *Chemosphere*, 280, 130830.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130830>
- Zulfiqar, U., W. Jiang., W. Xiukang., S. Hussain., M. Ahmad., M. F. Maqsood., A. Mustafa. 2022. Cadmium Phytotoxicity, Tolerance, and Advanced Remediation Approaches in Agricultural Soils; A Comprehensive Review. *Frontiers in Plant Science*, 13: 401.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.773815>