**PENILAIAN KETAHANAN TANAMAN AROMATIK TERHADAP LOGAM BERAT KADMIUM MELALUI ANALISA PERTUMBUHAN**

ASSESSMENT OF AROMATIC PLANT RESISTANCE TO CADMIUM HEAVY METALS THROUGH GROWTH ANALYSIS

Yustina Sri Sulastri1, Tengku Sabrina2, Mukhlis3, Revandy Damanik4

Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Prof. A. Sofyan No. 3 Kampus USU, Medan, KP: 20155

Korespondensi : yustina041067@gmail.com

Diterima /Disetujui

**ABSTRAK**

Kontaminasi tanah pertanian dengan logam berat beracun dapat memengaruhi produktivitas dan keamanan tanaman sebagai tanaman pangan dan pakan, dan hal ini menjadi masalah lingkungan yang berat. Tanaman yang tahan logam berat dan aman diperlukan dalam fitoremediasi, antara lain tanaman aromatik karena tanaman tersebut bukan tanaman makanan dan pakan. Dalam hal ini perlu dilakukan penelitian guna menilai ketahanannya terhadap kadmium melalui analisa pertumbuhannya. Penelitian ini menggunakan RAK faktorial; faktor I: jenis tanaman aromatik {T1 = akar wangi (*Vetiveria zizanioides*), T2 = serai wangi (*Cymbopogon nardus*), T3 = serai (*Cymbopogon citratus)*, T4 = nilam (*Pogostemon cablin*), T5 = ruku-ruku (*Ocimum tenuiflorum*)}. Faktor II: konsentrasi logam berat Cd (K0= 0 ppm, K1= 85 ppm, K2= 170 ppm, K3= 255 ppm, K4= 340 ppm) dimana setiap perlakuan dibuat dalam 3 ulangan. Parameter yang diamati adalah volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk. Data hasil penelitian dianalisis menggunakan IBM SPSS Statistics 20, perlakuan yang menunjukkan pengaruh nyata terhadap peubah yang diamati dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf kepercayaan 5%. Selanjutnya dilakukan penghitungan persentase selisih data antara yang ditanam dengan Cd dan tanpa Cd. Dari hasil pengujian sidik ragam, faktor konsentrasi kadmium tidak memberi pengaruh kepada semua parameter. Tanaman serai wangi menunjukkan pertumbuhan yang tertinggi memlalui volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk namun untuk volume akar tidak berbeda dengan serai dan akar wangi. Akar wangi dan ruku-ruku pertumbuhannya secara konsisten lebih tinggi pada semua parameter yang diamati di bawah Cd dibanding tanpa Cd. Tanaman akar wangi, serai wangi, serai dan ruku-ruku dapat dijadikan alat fitoremediasi pada suatu kawasan yang tercemar logam berat kadmium.

Kata kunci: fitoremediasi, tanaman aromatik, logam berat, cadmium

ABSTRACT

Contamination of agricultural soil with toxic heavy metals can affect the productivity and safety of plants as food crops and feed, and this becomes a severe environmental problem. Heavy metal resistant and safe plants are needed in phytoremediation, one of which is aromatic plants because they are not food and feed crops. In this case, research needs to be done to assess its resistance to cadmium through growth analysis. This study uses RAK factorial; factor I: aromatic plant type (T1 = vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*), T2 = citronella grass (*Cymbopogon nardus*), T3 = lemongrass (*Cymbopogon citratus*), T4 = patchouli (*Pogostemon cablin*), T5 = basil (*Ocimum tenuiflorum*). Factor II: concentration of Cadmium (K0 = 0 ppm, K1 = 85 ppm, K2 = 170 ppm, K3 = 255 ppm, K4 = 340 ppm) where each treatment is made in 3 repeats. The observed parameter is root volume, weight of wet roots, and weight of wet shoot. The data was analyzed using IBM SPSS Statistics 20, a treatment that showed a significance effect on the parameter observed followed by a DMRT test at a 5% confidence level. Furthermore, the percentage of data difference between planted with Cd and without Cd. From the results of the analysis of variance, the cadmium concentration factor has no effect on all parameters. Citronella grass show highest of root volume growth, weight of wet roots and weight of wet shoot but for root volume is no different from lemongrass and vetiver grass. Vetiver grass and basil growth is consistently higher on all parameters observed under Cd than without Cd. Vetiver grass, citronella grass, lemongrass and basil can be used as a means of phytoremediation in an area polluted with cadmium heavy metals.

Keywords: phytoremediation, aromatic plants, heavy metals, cadmium

**PENDAHULUAN**

Kontaminasi tanah pertanian dengan logam berat beracun dapat memengaruhi produktivitas dan keamanan tanaman sebagai tanaman pangan dan pakan, dan hal ini menjadi masalah lingkungan yang berat (Zheljazkov et al., 2006). Istilah logam berat, trace metal dan trace elemen mengacu pada kelompok logam dan metaloid dengan nomor atom dan massa yang relatif tinggi (> 20 dan 5 g cm−3) (Alloway, 2011).Di antara berbagai logam berat, Kadmium (Cd) menempati posisi teratas dalam hal efek beracun yang ditimbulkan pada tanaman dan kesehatan manusia, karena toksisitas, mobilitas, dan ketersediaannya yang tinggi untuk semua organisme hidup (Zhu et al., 2018).Akumulasi logam di tanah mengurangi kesuburan tanah, aktivitas mikroba dan pertumbuhan tanaman. Selain itu, trace elemen sangat persisten, dapat berinteraksi dengan akar tanaman dengan penyerapan atau pelepasan dari partikel tanah, dan karena itu meningkatkan risiko polusi tanah jangka panjang dan efek toksik pada organisme(Bini et al., 2012)**.**

Penilaian kontaminasi tanah oleh logam telah luas dilakukan melalui analisis tanaman. Baik spesies tanaman liar dan yang dibudidayakan telah sering digunakan sebagai bioindikator untuk skala besar dan kontaminasi tanah lokal. Dan salah satu indikasi ketahanan tanaman terhadap logam berat adalah melalui pertumbuhannya dimana tanaman yang tumbuh dengan cepat dapat menjadi kandidat sebagai alat fitoremediasi. Spesies tanaman yang ideal untuk memulihkan tanah yang terpolusi logam berat harus tanaman penghasil biomassa tinggi yang dapat mentolerir dan mengumpulkan polutan (Ebbs & Kochian, 1997).

Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap tanaman sebagai alat. untuk membersihkan tanah yang terkontaminasi logam dengan biaya rendah dan teknik fitoremediasi ramah lingkungan telah dilakukan. Teknologi ini difokuskan pada kemampuan tanaman untuk mengakumulasi konsentrasi logam berat yang tinggi (hingga 100 kali konsentrasi normal) di bagian tajuknya disebut sebagai tanaman *hyperaccumulator* seperti yang didefinisikan oleh Baker (Baker, 1981). Pilihan tanaman adalah aspek penting untuk teknik remediasi. Hingga saat ini, lebih dari 400 tanaman yang dapat mengakumulasi logam berat telah dilaporkan, Brassicaceae menjadi keluarga dengan jumlah spesies akumulator terbesar (Bini et al., 2012). Namun demikian informasi tentang tanaman aromatik sebagai alat fitoremediasi logam berat khususnya kadmium masih tergolong kurang terutama tanaman serai, serai wangi, nilam dan ruku-ruku.

Idealnya, tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi harus mengekstrak logam berat dari tanah dan memberikan pengembalian investasi, namun tidak mencemari makanan atau pakan. Tanaman aromatik, digunakan untuk produksi minyak esensial sebagai tandingan dari tanaman makanan atau pakan, mungkin dapat menjadi tanaman alternatif yang cocok ditanam di tanah pertanian yang terkontaminasi logam berat. Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi minat yang berkembang pada tanaman aromatik (beberapa herbal) yang dianggap cocok untuk fitoremediasi yang aman untuk lingkungan, karena tanaman ini terutama digunakan untuk produk sekunder, dan minyak esensial dari daun atau akarnya (Dobrikova et al., 2021).

Adapun tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi kemampuan beberapa jenis tanaman aromatik sebagai tanaman fitoremediasi logam berat kadmium dalam meningkatkan pertumbuhannya.

**BAHAN DAN METODE**

Penelitian ini dilaksanakan di kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan dari bulan Mei 2019 sampai dengan September 2019.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman akar wangi ([*Vetiveria zizanioides*](http://www.planetayurveda.com/library/ushira-vetiveria-zizanioides)), serai wangi (*Cymbopogon nardus*), serai (*Cymbopogon citratus*) dari indukan, stek batang nilam (*Pogostemon cablin*), dan stek batang ruku-ruku (*Ocimum tenuiflorum*), topsoil, pasir, polybag ukuran 5 kg, Round up, Decis, Antracol, batu bata (untuk alas polybag), logam berat 3CdSO4.8H2O, aquades, amplop cokelat, dan bahan lainnya yang mendukung penelitian ini.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: timbangan analitik, gelas ukur, *baker glass*, cangkul, pisau, babat, knapsack sprayer, dan alat lainnya yang mendukung dalam penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial; dengan faktor I adalah jenis tanaman aromatik yang terdiri dari: T1 = akar wangi (*Vetiveria zizanioides*), T2 = serai wangi (*Cymbopogon nardus*), T3 = serai (*Cymbopogon citratus)*, T4 = nilam (*Pogostemon cablin*), T5 = ruku-ruku (*Ocimum tenuiflorum*). Faktor II adalah konsentrasi logam berat Cd yang terdiri dari empat taraf, K0 = 0 ppm, K1 = 85 ppm, K2 = 170 ppm, K3 = 255 ppm, K4 = 340 ppm. Sehingga terdapat 25 perlakuan kombinasi dimana setiap perlakuan dibuat dalam 3 ulangan dimana masing-masing unit percobaan terdiri dari 3 tanaman. Data dari hasil penelitian ini dianalisis menggunakan IBM SPSS Statistics 20 kemudian perlakuan yang menunjukkan pengaruh nyata terhadap peubah yang diamati dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf kepercayaan 5%.

Sebelum tanam, disiapkan dan ditimbang tanah 10 g untuk pengukuran pH tanah awal. Kemudian dianalisis kandungan logam berat kadmium dalam tanah tersebut. Tanah yang akan digunakan dikeringanginkan, setelah itu dicampur dengan pasir dengan perbandingan 3:1, kemudian dimasukkan ke polybag ukuran 5 kg. Disiapkan dan ditimbang logam berat kadmium (buatan) yang berasal dari 3CdSO4.8H2O sesuai dengan perlakuan. Ambang batas logam berat kadmium yang diterapkan pada tanah sebesar 85 ppm (US EPA, 1993). Kadmium tersebut selanjutnya dibenam secara melingkar ke area perakaran (± 5 cm dari batang tanaman).

Kemudian dari pada itu lima jenis tanaman yakni akar wangi (T1), serai wangi (T2), serai (T3), nilam (T4), dan ruku-ruku (T6) disiapkan. Dengan cara sebagai berikut: tanaman akar wangi yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari indukan yang sudah berumur 3 bulan, dilakukan dengan pemotongan dengan ukuran tinggi 20 cm dan panjang akar 8 cm (Chen et al., 2004); serai wangi dan serei yang digunakan dari bahan stek yang diambil dari indukan yang sudah berumur 3 bulan, dipotong daunnya hingga sekitar 3- 5 cm dari pelepah daun, demikian pula dengan akar, dikurangi dengan pemotongan hingga menyisakan sekitar 2,5 cm dibawah leher akar (Sumiartha *et al*., 2012). Bahan tanam nilam diperoleh dari bibit stek nilam yang sudah berumur lebih kurang 1 bulan, ukuran stek terdiri dari 3 ruas serta daun dipangkas lebih dahulu dengan menyisakan 2 helai daun (Purba et al, 2017) ditumbuhkan di tempat yang teduh, demikian pula prosedur yang dilakukan untuk tanaman ruku-ruku. Pemeliharaan dilakukan termasuk menyiram dan pengendalian hama maupun penyakit. Setelah 20 minggu setelah tanam (mst) kemudian tanaman dicabut secara perlahan-lahan dengan cara polybag dikoyak kemudian akar dicuci di dalam ember berisi air (agar akar tidak rusak), selanjutnnya dilakukan pengamatan. Adapun parameter yang diamati adalah volume akar (ml), berat basah akar (g), berat basah tajuk (g). Kemudian dilakukan penghitungan persentase selisih data antara yang ditanam dengan Cd dan tanpa Cd.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk**

Hasil uji sidik ragam menunjukkan bahwa faktor jenis tanaman berpengaruh sangat nyata terhadap rataan volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk, sedangkan faktor konsentrasi logam berat Cd tidak memberi pengaruh yang nyata. Dari data rata-rata pengukuran volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk beberapa jenis tanaman aromatik dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel rata-rata volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk menunjukkan serai wangi yang tertinggi dibanding dengan yang lainnya. Hasil uji beda rataan pada volume akar menunjukkan serai wangi sangat berbeda dengan nilam maupun ruku-ruku tetapi tidak berbeda dengan akar wangi maupun serai. Ditinjau dari struktur tanaman antara serai wangi, serai maupun akar wangi menunjukkan kemiripan dan mereka termasuk dalam suku rumput-rumputan (Poaceae) berbeda dengan kedua tanaman lainnya.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa serai dapat dijadikan sebagai alat untuk meremediasi logam berat. Penelitian Panda et al. (2018) menunjukkan terjadi peningkatan aktivitas beberapa enzim antioksidan seperti superoksida dismutase, ascorbate peroksidase, dan guaiacol peroksidase dibanding kontrol terlihat dalam serai di bawah semua perlakuan limbah batu bara yang banyak mengandung logam berat. Enzim-enzim tersebut berperan dalam mekanisme pertahanan terhadap kondisi stres sehingga serai dapat digunakan untuk fitoremediasi limbah batu bara pada kadar 25%. Sedangkan informasi tentang serai wangi masih sangat kurang namun terdapat hasil penelitian bahwa serai wangi berpotensi sebagai fitostabilisasi logam Cd dan Cr (Pandey et al., 2019).

Pemanfaatan tanaman untuk meremediasi logam berat pada suatu kawasan akhir-akhir ini banyak dilakukan karena mudah dilakukan dan tidak membutuhkan biaya yang besar. Sudah banyak penelitian yang dilakukan terhadap tanaman aromatik sebagai fitoremediasi logam berat khususnya pada akar wangi, serai, dan serai wangi. Pirzadah et al., (2019) menuliskan satu data terbaru tentang penggunaan tanaman aromatik dan obat sebagai tanaman fitoremediasi tanaman bahwa serai, serai wangi dan akar wangi mampu meremediasi beberapa logam berat. Selain itu remediasi tanah yang terkontaminasi dengan logam berat dengan memanfaatkan tanaman aromatik daripada tanaman yang dapat dimakan (non-aromatik) adalah pendekatan yang menjanjikan dan berkelanjutan. Penggunaan tanaman non-aromatik untuk fitoremediasi tidak layak karena logam berat beracun dapat terakumulasi ke bagian yang dapat dimakan dan dengan demikian memasuki rantai makanan baik dikonsumsi oleh hewan atau manusia. Oleh karena itu, dorongan utama saat ini difokuskan pada tanaman aromatik yang digunakan untuk produksi minyak esensial.

Tabel 1. Hasil rataan volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk pada beberapa tanaman aromatik selama 20 mst.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Perlakuan | Rataan (g) | | |
| Volume akar | Berat basah akar | Berat basah tajuk |
| T1 | 157.27 A | 132.99 B | 167.24 C |
| T2 | 191.33 A | 171.26 A | 487.61 A |
| T3 | 183.60 A | 159.38 AB | 341.70 B |
| T4 | 5.58 B | 5.28 C | 46.81 D |
| T5 | 13.91 B | 13.90 C | 70.26 CD |

Keterangan = \*Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama untuk masing-masing perlakuan tidak berbeda nyata pada uji DMRT α=0,05

\*\*T1 (akar wangi); T2 (serai wangi); T3 (serai); T4 (nilam); T5 (ruku-ruku).

Dari uji beda rataan pada berat basah akar, serai wangi berbeda sangat nyata dengan akar wangi, nilam dan ruku-ruku tapi tidak berbeda dengan serai. Di dalam tulisan Pandey et al., (2019) menuliskan bahwa serai-seraian termasuk serai wangi (*Cymbopogon sp*) menghasilkan sistem akar dan jaringan akar luas yang memfasilitasi pengikatan tanah ke dalamnya. Hal inilah yang dapat menyumbangkan kepada berat basah akar.

Selanjutnya uji beda rataan pada data berat basah tajuk, serai wangi sangat berbeda dengan berat basah tanaman lainnya. Pengamatan pertumbuhan di lapangan terhadap serai wangi menunjukkan tanaman tersebut tumbuh lebih cepat sehingga hal inilah yang menyebabkan berat basah serai wangi lebih tinggi dan berbeda sangat nyata dengan tanaman lainnya. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sinha et al. (2013) membandingkan 2 tanaman dengan biomassa tinggi, seperti serai wangi dimana serai wangi menunjukkan kemampuan pengambilan logam Cr lebih baik dibanding akar wangi terutama dari bagian akarnya dan dikatakan rumput ini tumbuh cepat dan dapat dengan mudah digunakan untuk fitoremediasi. Skrining dan identifikasi tanaman yang dapat mengubah unsur-unsur beracun menjadi yang bermanfaat dapat menjadi penemuan baru di bidang ini. Pada dasarnya ada tiga sudut pandang dalam pemilihan tanaman yaitu: i. Tanaman ekonomi bernilai tinggi, ii. Tidak ada atau sedikit risiko kontaminasi dalam penggunaan produk akhir, iii. Karakter tanaman yang tidak biasa (yaitu biomassa tinggi dan efisiensi ekstraksi logam berat yang tinggi) (Pandey et al., 2019).

**Persentase perubahan tanaman tanpa Cd dan dengan Cd**

Apabila ditinjau dari persentase perubahan volume akar, berat basah akar, dan berat basah tajuk tanaman yang ditanam pada keadaan tanpa Cd dan dengan Cd maka tanaman akar wangi dan ruku-ruku menunjukkan respon yang konsisten ketika tanaman diberi Cd. Karena dari ketiga parameter menujukkan hasil yang lebih tinggi dan konsistensi itu ditunjukkan oleh tanaman akar wangi (Tabel 2). Banyak studi-studi yang dilakukan terhadap akar wangi untuk menguji kemampuannya dalam meremediasi logam berat, salah satunya hasil penelitian Zhang et al. (2014) menyatakan bahwa tanaman akar wangi dapat mengakumulasi Cd pada akar dan tajuk tanaman berturut-turut sebesar 167-396 mg/kg dan 0,13-9,0 mg/kg. Selanjutnya mereka mengatakan konsentrasi Cd di tajuk tanaman akar wangi sangat rendah sementara konsentrasinya di akar secara luar biasa tinggi. Dengan demikian tanaman akar wangi dibatasi sebagai spesies untuk fitostabilisasi dari polusi Cd. Penelitian lain menunjukkan akar wangi mampu mengakumulasi logam lebih banyak pada tanah campuran beberapa logam berat dibanding pada tanah yang hanya mengandung satu macam logam berat (Ng et al., 2020).

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa tanaman ruku-ruku memberikan pertumbuhan yang lebih baik ketika ditanam pada tanah yang diberi perlakuan Cd dari pada tanah tanpa Cd. Ini menunjukkan bahwa tanaman ruku-ruku dapat juga dijadikan alat fitoremediasi logam berat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Rai et al. (2004) tanaman ruku-ruku yang diberi perlakuan kromium menghasilkan lebih banyak eugenol (komponen utama minyak esensial ruku-ruku) dibandingkan dengan kontrol (14,46, 24,61, 16,80, 3,83% lebih banyak eugenol dari 10, 20, 50 dan 100 µM pada tanaman yang diberi kromium secara berturut-turut). Studi ini menyimpulkan bahwa tanaman dapat tumbuh di bawah tekanan kromium dan dapatmelindungi diri dari toksisitas Cr dengan mengubah berbagai proses metabolisme.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanaman aromatik dari suku rumput-rumputan yakni akar wangi, serai dan serai wangi dapat dijadikan sebagai alat fitoremediasi logam berat khususnya kadmium. Karena memiliki karakter pertumbuhan yang cepat sehingga sepat dapat menghasilkan biomassa yang tinggi disamping itu dapat mengakumulasi logam berat. Namun untuk menentukan yang terbaik dari ketiganya tersebut dibutuhkan pengujian dari parameter lain yang mendukung percobaan ini.

Tabel 2. Persentase perubahan hasil rataan volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk pada skrining tanaman yang terpapar Cd dan tanpa Cd selama 20 mst.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tanaman\* | Volume Akar (ml) | | | Berat Basah Akar (g) | | | Berat Basah Tajuk (g) | | |
| Tanpa Cd | Cd | % | Tanpa Cd | Cd | % | Tanpa Cd | Cd | % |
| T1 | 129.00 | 164.33 | 27.39 | 105.53 | 139.85 | 32.52 | 130.96 | 176.31 | 34.63 |
| T2 | 188.67 | 193.67 | 2.65 | 182.37 | 168.48 | -7.62 | 472.85 | 491.30 | 3.90 |
| T3 | 189.33 | 182.17 | -3.78 | 181.70 | 153.81 | -15.35 | 370.70 | 334.45 | -9.78 |
| T4 | 10.47 | 4.36 | -58.36 | 9.08 | 4.33 | -52.31 | 48.36 | 46.43 | -3.99 |
| T5 | 12.67 | 14.23 | 12.31 | 13.22 | 14.07 | 6.43 | 38.12 | 78.30 | 105.40 |

Keterangan :\*T1 (akar wangi); T2 (serai wangi); T3 (serai); T4 (nilam); T5 (ruku-ruku).

**SIMPULAN**

1. Tanaman serai wangi memberi pertumbuhan volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk yang tertinggi namun untuk volume akar tidak berbeda dengan serai dan akar wangi.
2. Secara konsisten akar wangi dan ruku-ruku pertumbuhannya lebih baik pada kondisi di bawah Cd dibanding tanpa Cd.
3. Tanaman akar wangi, serai wangi, serai dan ruku-ruku dapat dijadikan alat fitoremediasi logam berat kadmium pada suatu kawasan.

**Ucapan Terimakasih**

Ucapan terimakasih ditujukan sebesar-besarnya kepada Kementerian Keuangan melalui beasiswa BUDI-DN nya yang telah membantu mendanai studi dan penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Baker, A. J. M. (1981). Accumulators and Excluders - Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*, *3*(1–4), 643–654. https://doi.org/10.1080/01904168109362867

Bini, C., Wahsha, M., Fontana, S., & Maleci, L. (2012). Effects of heavy metals on morphological characteristics of Taraxacum officinale Web growing on mine soils in NE Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, *123*, 101–108. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.07.009

Chen, Y., Shen, Z., & Li, X. (2004). The use of vetiver grass (Vetiveria zizanioides) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Applied Geochemistry*, *19*(10), 1553–1565. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2004.02.003

Dobrikova, A., Apostolova, E., Hanć, A., Yotsova, E., Borisova, P., Sperdouli, I., Adamakis, I. D. S., & Moustakas, M. (2021). Tolerance mechanisms of the aromatic and medicinal plant salvia sclarea l. To excess zinc. *Plants*, *10*(2). https://doi.org/10.3390/plants10020194

Ebbs, S. D., & Kochian, L. V. (1997). Toxicity of Zinc and Copper to Brassica Species: Implications for Phytoremediation. *Journal of Environmental Quality*, *26*(3), 776–781. https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600030026x

Ng, C. C., Boyce, A. N., Abas, M. R., Mahmood, N. Z., & Han, F. (2020). Evaluation of Vetiver Grass Uptake Efficiency in Single and Mixed Heavy Metal Contaminated Soil. *Environmental Processes*, *7*(1), 207–226. https://doi.org/10.1007/s40710-019-00418-2

Panda, D., Panda, D., Padhan, B., & Biswas, M. (2018). Growth and physiological response of lemongrass (Cymbopogon citratus (D.C.) Stapf.) under different levels of fly ash-amended soil. *International Journal of Phytoremediation*, *20*(6), 538–544. https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1393394

Pandey, J., Verma, R. K., & Singh, S. (2019). Suitability of aromatic plants for phytoremediation of heavy metal contaminated areas: a review. In *International Journal of Phytoremediation* (Vol. 21, Issue 5). https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1540546

Pirzadah, T. B., Malik, B., & Dar, F. A. (2019). Phytoremediation Potential of Aromatic and Medicinal Plants: A Way Forward for Green Economy. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, *15*(3), 62–75.

Purba, R.S., J. Ginting, J. Ginting, 2017. Respons Pertumbuhan Stek Nilam (Pogostemon cablin Benth.) pada Berbagai Bahan Tanam dan Konsentrasi IBA. Jurnal Agroekoteknologi Vol 5 No 4 (104): 799-805

Rai, V., Vajpayee, P., Singh, S. N., & Mehrotra, S. (2004). Effect of chromium accumulation on photosynthetic pigments, oxidative stress defense system, nitrate reduction, proline level and eugenol content of Ocimum tenuiflorum L. *Plant Science*, *167*(5), 1159–1169. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.06.016

Sinha, S., Mishra, R. K., Sinam, G., Mallick, S., & Gupta, A. K. (2013). Comparative Evaluation of Metal Phytoremediation Potential of Trees, Grasses, and Flowering Plants from Tannery-Wastewater-Contaminated Soil in Relation with Physicochemical Properties. *Soil and Sediment Contamination*, *22*(8), 958–983. https://doi.org/10.1080/15320383.2013.770437

Sumiartha, K., Kohdrata, N dan Antara N. S., 2012. Modul Pelatihan Budidaya dan Pasca Panen Tanaman Serai (*Cymbopogon cytratus*). Bali Pusat Studi Ketahanan Pangan Universitas Udayana.

US EPA, 1993. U.S. Environmental Protection Agency Reregistration Eligibility Decision (RED) Glyphosate. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (EPA-738-R-93-014).

Zhang, X., Gao, B., & Xia, H. (2014). Effect of cadmium on growth, photosynthesis, mineral nutrition and metal accumulation of bana grass and vetiver grass. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *106*, 102–108. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.04.025

Zheljazkov, V. D., Craker, L. E., & Xing, B. (2006). Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environmental and Experimental Botany*, *58*(1–3), 9–16. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.008

Zhu, G., Xiao, H., Guo, Q., Zhang, Z., Zhao, J., & Yang, D. (2018). Effects of cadmium stress on growth and amino acid metabolism in two Compositae plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *158*(April), 300–308. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.045