



PENILAIAN TANAMAN NILAM DALAM MEREMEDIASI LOGAM CADMIUM PENGARUHNYA PADA PERTUMBUHAN DAN KANDUNGAN MINYAK ATSIRI

***Yustina Sri Sulastri¹, Delima Panjaitan²**

^{1,2}Program Studi of Agroteknologi, Fakultas Pertanian,
Universitas Katolik Santo Thomas Medan
E-mail: yustina04@ust.ac.id

ABSTRACT

Heavy metal pollution in urban soil is an increasingly urgent problem today. High concentrations of heavy metals in soil can cause long-term risks to ecosystems and humans. It is necessary to find a solution to reduce heavy metal pollution, especially through phytoremediation using patchouli plants. Research on patchouli plants was carried out using a non-factorial randomized block design; consists of 1 factor, namely the concentration of the heavy metal Cd which consists of five levels: K₀= 0 ppm, K₁= 85 ppm, K₂= 170 ppm, K₃= 255 ppm, K₄= 340 ppm. Each treatment was made in 3 replications where each experimental unit consisted of 3 plants. Data on essential oil content and uptake of the heavy metal Cd from the results of this study were analyzed using IBM SPSS Statistics 20, then the treatment that showed a real influence on the observed variables was continued with the Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a confidence level of 5%. The parameters observed were root length (cm), root volume (cm³), root wet and dry weight (g), shoot wet and dry weight (g), essential oil content (ml/g), cadmium uptake in the roots and shoots. (ppm). The research results show that patchouli plants are classified as plants that are resistant to heavy metal stress, this can be indicated by their ability to grow and develop well at concentrations ranging from 0 ppm to 255 ppm. Based on the absorbed Cd content, patchouli plants are classified as phyto-extraction plants because they are able to accumulate greater Cd metal in their shoots compared to the Cd content in their roots. Likewise, the production of essential oils produced is not influenced by the concentration of Cd metal.

Keywords: Patchouli plant, cadmium metal, essential oil

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini pencemaran logam berat di tanah perkotaan merupakan masalah yang semakin mendesak di seluruh dunia industri. Hal ini dikarenakan tanah perkotaan menerima sejumlah logam berat yang signifikan seperti Cd, Cu, Pb, dan Zn dari lalu lintas kegiatan seperti, peleburan, pengendapan debu dari pembakaran bahan bakar fosil, kegiatan industri dan pembuangan limbah. Selain itu logam berat bisa juga terakumulasi di lapisan deposisi tanah atas dari atmosfer (Pandey dan Pandey, 2009).

Logam berat, tidak seperti kontaminan organik, umumnya tidak berubah, tidak terdegradasi dan persisten di tanah. Konsentrasi tinggi logam berat dalam tanah dapat menyebabkan resiko jangka panjang ekosistem dan manusia (Alloway, 1995). Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang paling banyak ditemukan pada lingkungan, khususnya lingkungan perairan, serta memiliki efek toksik yang tinggi, bahkan pada konsentrasi yang rendah (Almeida *et al.*, 2009). Kadmium diketahui memiliki waktu paruh yang panjang dalam tubuh organisme hidup (Patrick, 2003) dan umumnya terakumulasi di dalam hepar dan ginjal (Flora, 2009).

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi, berat jenisnya lebih dari 5 (lima) g/cm³ (Clemens *et al.*, 2002). Diantara semua unsur logam berat, Cd menduduki urutan kedua dalam hal sifat racunnya, dibandingkan dengan logam berat lainnya. Diantara semua logam berat, kadmium (Cd) merupakan logam yang lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan logam berat lainnya (Nopriani, 2011).

Tanah pertanian yang terkontaminasi logam berat merupakan masalah lingkungan utama yang dapat berpengaruh kepada produktivitas tanaman dan keamanan tanaman pangan dan makanan ternak (Alloway, 1990). Diprediksikan peningkatan kontaminasi logam berat pada tanah terjadi 30 sampai 40 tahun kemudian (McGrath, 2002), akan terjadi stres lingkungan yang dapat membatasi kegunaan lahan.

Tindakan pemulihan perlu dilakukan agar tanah yang tercemar dapat digunakan kembali dengan aman. Banyak teknologi yang digunakan untuk remediasi tanah yang tercemar logam berat. Salah satunya adalah fitoremediasi. Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Yan *et al.*, 2020).

Idealnya, tumbuhan digunakan untuk fitoremediasi harus mengekstrak logam berat dari tanah namun tidak mencemari makanan atau pakan. Salah satu yang dapat direkomendasikan sebagai fitoremediasi yaitu tanaman aromatik. Tanaman aromatik dipilih sebagai fitoremediasi dikarenakan dapat memproduksi minyak atsiri pada tanah pertanian yang terkontaminasi logam berat (Zheljazkov dan Nielsen, 1996). Gupta *et al.*, (2013), juga menyatakan bahwa efek dari logam berat terhadap produksi minyak esensial dari tanaman aromatik tidak memiliki risiko jika digunakan.

Pada dasarnya semua jenis tanaman berpotensi sebagai alat fitoremediasi, hanya kemampuan remediasi tiap jenis tanaman berbeda-beda. Penggunaan tanaman aromatik sudah diusulkan untuk remediasi *in situ* dan pengelolaan berbagai situs pembuangan limbah sebab tanaman aromatik mampu meremediasi logam berat dan memiliki karakter yang unik dan tidak biasa yakni mampu menghasilkan minyak atsiri yang sangat bernilai bagi kebutuhan manusia. Karakteristik yang dimiliki tanaman aromatik memungkinkan tanaman tersebut berguna untuk fitoremediasi antara lain: merupakan tanaman perennial dengan panen berkali-kali, laju pertumbuhan cepat, dengan kapasitas produksi biomassa yang tinggi, perbanyakannya mudah dan cepat, sistem perakaran yang boros, mudah dipanen, toleran terhadap kondisi stres lokal (perubahan pH, keracunan logam berat, kekeringan, dan suhu), kapasitas stabilisasi logam tinggi, dan tidak disukai ternak (Pandey, Pandey, dan Singh, 2015).

Tanaman aromatik yang dikenal antara lain tanaman nilam. Daun tanaman nilam menghasilkan minyak aromatik, yang sangat bernilai dalam wewangian dan aromaterapi karena aroma pedas aromatiknya yang dominan (Adachi dan Hasegawa, 1992). Minyak nilam dapat bertindak sebagai basis yang kuat dan memberikan properti fiksatif permanen untuk mencegah penguapan dan meningkatkan kekuatan aroma (El-Zaiat dan Abdalla, 2019). Namun sebagai alat fitoremediasi logam berat nilam belum banyak diteliti orang.

Hasil penelitian (Sulastri & Tampubolon, 2019) menunjukkan bahwa tanaman nilam merupakan fitoakumulator logam berat yang baik karena memiliki nilai faktor translokasi yang cukup tinggi karena memiliki nilai lebih dari 1. Perlu dilakukan penelitian terhadap tanaman nilam untuk menilai kemampuannya dalam meremediasi logam berat khususnya Cadmium.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian USU. Serapan logam berat kadmium di laboratorium Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian (B2P2TP). Analisa minyak atsiri dilakukan di Laboratorium Fakultas Farmasi USU.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman nilam (*Pogostemon cablin*), topsoil, pasir, polybag ukuran 5 kg, Round up, Decis, Antracol, batu bata (untuk alas polybag), logam berat $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, air, aquades, aqua DM, asam kuat terdiri dari asam nitrat pekat (HNO_3) dan asam perklorat (HClO_4), sarung tangan karet, masker, amplop cokelat, kertas label, dan bahan lainnya yang mendukung penelitian ini.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: oven, hot plate, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), meteran, shaker, ayakan 10 mesh, timbangan analitik, gelas ukur, *baker glass*, labu takar ukuran 25 ml, kertas saring, corong gelas, botol kaca, penjepit kayu, telenan, labu penyulingan minyak, cangkul, pisau, babat, knapsack sprayer, dan alat lainnya yang mendukung dalam penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Non Faktorial; terdiri dari 1 faktor yakni konsentrasi logam berat Cd yang terdiri dari lima taraf: $K_0 = 0$ ppm, $K_1 = 85$ ppm, $K_2 = 170$ ppm, $K_3 = 255$ ppm, $K_4 = 340$ ppm.

Setiap perlakuan dibuat dalam 3 ulangan dimana masing-masing unit percobaan terdiri dari 3 tanaman. Data kandungan minyak atsiri dan serapan logam berat Cd 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%.

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 $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 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). Selanjutnya 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 (Amin, 2006), ditumbuhkan di tempat yang teduh.

Adapun parameter yang diamati adalah panjang akar (cm), volume akar (cm^3), berat basah dan kering akar (g), berat basah dan kering tajuk (g), kandungan minyak atsiri (ml/g), serapan kadmium di akar dan di tajuk (ppm). Selanjutnya untuk mengetahui sejauh mana perubahan yang terjadi akibat perlakuan Cd (konsentrasi tertinggi) dilakukan penghitungan persentase perubahan amatan antara yang diperlakukan dengan Cd dengan yang tanpa Cd dengan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ perubahan amatan} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\%, \text{ dimana:}$$

V_1 = amatan yang tidak diberi perlakuan Cd

V_2 = amatan yang diberi perlakuan Cd

Analisis serapan logam berat di akar dan di tajuk prinsip kerjanya yaitu melalui destruksi basah. Konsentrasi Cd ditentukan oleh alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) setelah sampel didestruksi dengan campuran asam kuat HNO_3 : HClO_4 dengan perbandingan 3:1 (Aibibu *et al.*, 2010).

Bahan yang digunakan untuk analisa kandungan minyak atsiri diambil dari organ yang banyak mengandung minyak dalam penelitian ini digunakan daun dari tanaman nilam. Semua bahan tersebut sebelum disuling minyaknya harus dikeringkan di oven terlebih dahulu dengan suhu 40°C selama 3 hari. Selanjutnya bahan tersebut ditimbang dan dirajang-rajang. Setelah itu masukkan ke dalam labu takar dan ditambah aquades sampai batas tertentu kemudian disuling yaitu melalui proses perebusan selama 6 jam yang menghasilkan uap air yang sudah mengandung minyak atsiri. Selanjutnya minyak yang diperoleh dapat diukur. Persentase kandungan minyak diperoleh melalui penghitungan sebagai berikut:

$$\% \text{ Kandungan minyak (V/W)} = \frac{\text{Kandungan minyak atsiri (ml)}}{\text{Berat kering sampel}} \times 100\%$$

Selanjutnya dihitung kandungan minyak per tanaman yang di dapat dari:

Kandungan minyak per tanaman = % Kandungan minyak x berat kering tanaman.

HASIL

Berdasarkan hasil uji beda rataaan terhadap parameter pertumbuhan dapat diketahui bahwa konsentrasi logam berat Cd 0 ppm tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 85 ppm, 170 ppm, 255 ppm akan tetapi berbeda secara nyata dengan konsentrasi kadmium 340 ppm. Hal itu dapat dilihat pada Tabel 1. Pengaruh konsentrasi logam Cd terhadap volume akar, berat basah akar, berat basah tajuk, dan Tabel 2 Pengaruh konsentrasi logam Cd terhadap berat kering akar, berat kering tajuk, rasio akar tajuk.

Tabel 1. Hasil rataaan volume akar, berat basah akar dan berat basah tajuk tanaman nilam akibat pengaruh berbagai konsentrasi Cd pada umur 20 MST.

Perlakuan Konsentrasi Cd	Rataan		
	Volume akar (ml)	Berat basah akar (g)	Berat basah tajuk (g)
0 ppm	3.22 a	3.03 a	6.82 ab
85 ppm	2.74 ab	2.75 a	7.17 ab
170 ppm	1.83 ab	1.95 ab	4.68 ab
255 ppm	2.16 ab	1.96 ab	8.95 a
340 ppm	1.32 b	1.37 b	2.86 b

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

Dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa tanaman nilam tergolong tanaman yang cukup tahan terhadap cekaman logam berat kadmium terbukti bahwa pertumbuhan akar dan tajuk tidak berbeda nyata sampai dengan konsentrasi 255 ppm dibandingkan dengan kontrol. Menurut (Lchoczky *et al.*, 1996), kadmium di dalam tanaman ditemukan dalam sitosol terikat pada peptida dan kelompok-kelompok protein dengan berat molekul yang lebih rendah. Kadmium sebagian besar terakumulasi pada tanaman di bagian vegetatif di atas tanah dan sebagian kecil terakumulasi pada buah atau biji.

Secara alami tumbuhan memiliki beberapa keunggulan dalam meremediasi logam berat, yaitu: (i) Beberapa famili tumbuhan memiliki sifat toleran dan hiperakumulator terhadap logam berat; (ii) Banyak jenis tumbuhan dapat merombak polutan; (iii) Pelepasan tumbuhan yang telah dimodifikasi secara genetik ke dalam suatu lingkungan relatif lebih dapat dikontrol dibandingkan dengan mikroba; (iv) Tumbuhan memberikan nilai estetika; (v) Dengan perakarannya yang dapat mencapai 100×10^6 km akar per ha, tumbuhan dapat mengadakan kontak dengan bidang tanah yang sangat luas dan penetrasi akar yang dalam; (vi) Dengan kemampuan fotosintesis, tumbuhan dapat menghasilkan energi yang dapat dicurahkan selama proses detoksifikasi polutan; (vii) Asosiasi tumbuhan dengan mikroba memberikan banyak nilai tambah dalam memperbaiki kesuburan tanah (Feller dan MacKerell, 2000).

Tabel 2. Hasil rata-rata berat kering akar, berat kering tajuk dan rasio akar tajuk tanaman nilam akibat pengaruh berbagai konsentrasi Cd pada umur 20 MST.

Perlakuan Konsentrasi Cd	Rataan		
	Berat kering akar (g)	Berat kering tajuk (g)	Rasio akar tajuk
0 ppm	1.37 a	3.22 a	0.80 a
85 ppm	1.29 a	3.39 a	0.78 ab
170 ppm	1.83 ab	2.25 ab	0.76 ab
255 ppm	2.16 ab	2.96 ab	0.77 ab
340 ppm	1.32 b	1.60 b	0.73 b

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

Berikut adalah gambar penampilan tanaman nilam yang mendapat perlakuan konsentrasi Cd secara berturut-turut 0 ppm, 85 ppm, 170 ppm, 255 ppm dan 340 ppm. Tampak bahwa pertumbuhan tanaman nilam menunjukkan peningkatan pertumbuhan dengan meningkatnya Cd pada 85 ppm namun selanjutnya mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan logam berat Cd dalam jumlah yang cukup dapat memacu pertumbuhan tanaman nilam. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang disampaikan oleh (Aibibu *et al.*, 2010) bahwa aplikasi Cd yang berlebihan biasanya menyebabkan penghambatan bioproduksi massal dan fitotoksitas baik pada hiperakumulator maupun non-hiperakumulator telah terdokumentasi dengan baik. Namun demikian, rumput akar wangi yang diberi 1 mg/L Cd menunjukkan stimulasi sedang dalam produksi biomassa, sesuai dengan temuan sebelumnya bahwa terdapat potensi pengaruh positif Cd terhadap pertumbuhan tanaman pada konsentrasi yang lebih rendah.



Gambar 1. Penampilan tanaman nilam yang diberi perlakuan Cd berurutan 0, 85, 170, 255, 340 ppm

Besarnya kandungan Cd yang diserap di akar dengan yang di tajuk dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3 tersebut nampak bahwa kandungan Cd yang di tajuk lebih tinggi dibanding dengan yang di akar. Ini menunjukkan bahwa tanaman nilam tergolong tanaman yang memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat (*phytoextraction*) di tajuknya. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Sulastri & Tampubolon, 2019) bahwa tanaman nilam mempunyai nilai faktor translokasi yang tinggi.

Ada beberapa strategi fitoremediasi yang sudah digunakan secara komersial maupun masih dalam taraf riset yaitu 1) strategi berlandaskan pada kemampuan mengakumulasi kontaminan (*phytoextraction*), 2) kemampuan menyerap dan mentranspirasi air dari dalam tanah (*creation of hydraulic barriers*), 3) kemampuan akar menyerap kontaminan dari air tanah (*rhizofiltration*), 4) kemampuan tumbuhan dalam memetabolisme kontaminan di dalam jaringan (*phytotransformation*) juga digunakan dalam strategi fitoremediasi (Chaney *et al.*, 1999).

Tabel 3. Hasil rata-rata berat kering akar, berat kering tajuk dan rasio akar tajuk tanaman nilam akibat pengaruh berbagai konsentrasi Cd pada umur 20 MST.

Perlakuan Konsentrasi Cd	Rataan Kandungan			
	Cd akar (ppb)	Cd tajuk (ppb)	Cd Total (ppb)	Minyak (mg/tanaman)
0 ppm	54.88	72.75	174.15	11.04
85 ppm	239.70	455.20	915.69	14.05
170 ppm	171.46	255.54	600.61	8.54
255 ppm	78.81	481.18	666.68	11.15
340 ppm	109.49	206.01	445.59	5.75

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

Pada Tabel 3 juga menunjukkan bahwa penghasilan minyak atsiri nilam tidak menunjukkan perbedaan yang nyata akibat pengaruh konsentrasi logam Cd sampai dengan konsentrasi 255 ppm kecuali dengan konsentrasi 340 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa produksi minyak atsiri tidak dipengaruhi oleh adanya logam berat Cd. Sesuai hasil penelitian

(Sulastri & Tampubolon, 2019) terhadap tanaman nilam yang menunjukkan bahwa nilam memiliki rasio produksi minyak antara yang diberi Cd dengan yang tidak diberi Cd sebesar 1.02, artinya bahwa Cd memacu produksi minyak atsiri tanaman nilam dengan lebih baik.

KESIMPULAN

Tanaman nilam tergolong tanaman yang tahan terhadap cekaman logam berat, hal ini dapat ditandai dari kemampuannya untuk tumbuh dan berkembang dengan baik pada konsentrasi mulai dari 0 ppm sampai dengan 255 ppm. Berdasarkan kandungan Cd yang diserap, maka tanaman nilam tergolong tanaman fito-ekstraksi karena mampu mengakumulasi logam Cd lebih besar di bagian tajuknya dibanding dengan kandungan Cd di akar. Demikian halnya terhadap produksi minyak atsiri yang dihasilkan tidak dipengaruhi oleh konsentrasi logam Cd.

DAFTAR PUSTAKA

- Adachi, J., & Hasegawa, M. (1992). Amino acid substitution of proteins coded for in mitochondrial DNA during mammalian evolution. *Japanese Journal of Genetics*, 67(3). <https://doi.org/10.1266/jjg.67.187>
- Aibibu, N., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Chen, B., Song, H., & Xu, L. (2010). Cadmium accumulation in vetiveria zizanioides and its effects on growth, physiological and biochemical characters. *Bioresource Technology*, 101(16), 6297–6303. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.028>
- Alloway, B. . (1990). *Heavy Metals in Soil*. New York. Jhon Willey and Sons Inc.
- Alloway, B. . (1995). *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic and Professional. Chapman and Hall, London. <https://doi.org/doi.org/10.1007/978-94-011-1344-1>
- Almeida, J. A., Barreto, R. E., Novelli, E. L. B., Castro, F. J., & Moron, S. E. (2009). Oxidative stress biomarkers and aggressive behavior in fish exposed to aquatic cadmium contamination. *Neotropical Ichthyology*, 7(1), 103–108. <https://doi.org/10.1590/s1679-62252009000100013>
- Amin, A. (2006). The good city. *Urban Studies*, 43(5–6), 1009–1023.
- Chaney, R., Li, Y.-M., Brown, S., Homer, F., Malik, M., Scott Angle, J., Baker, A., Reeves, R., & Chin, M. (1999). Improving Metal Hyperaccumulator Wild Plants to Develop Commercial Phytoextraction Systems. In *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. <https://doi.org/10.1201/9781439822654.ch7>
- Clemens, S., Palmgren, M. G., & Krämer, U. (2002). A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends in Plant Science*, 7(7), 309–315. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02295-1](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02295-1)
- El-Zaiat, H. M., & Abdalla, A. L. (2019). Potentials of patchouli (*Pogostemon cablin*) essential oil on ruminal methanogenesis, feed degradability, and enzyme activities in vitro. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(29). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06198-4>
- Feller, S. E., & MacKerell, A. D. (2000). An improved empirical potential energy function for molecular simulations of phospholipids. *The Journal of Physical Chemistry B*, 104(31), 7510–7515.
- Flora, S. J. S. (2009). Structural, chemical and biological aspects of antioxidants for strategies against metal and metalloid exposure. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(4), 191–206.
- Gupta, A., Sharma, S., Reichenbach, P., Marjavaara, L., Nilsson, A. K., Lingner, J., Chabes, A.,

- Rothstein, R., & Chang, M. (2013). Telomere length homeostasis responds to changes in intracellular dNTP pools. *Genetics*, 193(4), 1095–1105. <https://doi.org/10.1534/genetics.112.149120>
- Lchoczky, É., Szabados, I., & Marth, P. (1996). Cadmium content of plants as affected by soil cadmium concentration. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27(5–8), 1765–1777. <https://doi.org/10.1080/00103629609369668>
- McGrath, I. (2002). *Materials Evaluation and Design for Language Teaching*. Edinburgh University Press.
- Nopriani, L. S. (2011). *Teknik uji cepat untuk identifikasi pencemaran logam berat tanah di lahan apel batu*. Disertasi. Universitas Brawijaya, Malang.
- Pandey, J., & Pandey, U. (2009). Accumulation of heavy metals in dietary vegetables and cultivated soil horizon in organic farming system in relation to atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148(1), 61–74.
- Pandey, P., Ramegowda, V., & Senthil-Kumar, M. (2015). Shared and unique responses of plants to multiple individual stresses and stress combinations: physiological and molecular mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 6, 723.
- Pandey, V. C., Pandey, D. N., & Singh, N. (2015). Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *Journal of Cleaner Production*, 86, 37–39.
- Patrick, L. (2003). Toxic metals and antioxidants: Part II. The role of antioxidants in arsenic and cadmium toxicity. *Alternative Medicine Review*, 8(2).
- Sulastri, Y. S., & Tampubolon, K. (2019). Aromatic plants: Phytoremediation of cadmium heavy metal and the relationship to essential oil production. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(8), 1064–1069.
- Verma, K., Saini, R., & Rani, A. (2014). Recent advances in the regeneration and genetic transformation of soybean. *Journal of Innovative Biology March*, 1(1), 15–26.
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 11). <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>
- Zheljaskov, V. D., & Nielsen, N. E. (1996). Studies on the Effect of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn and Fe) upon the Growth, Productivity and Quality of Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) Production. *Journal of Essential Oil Research*, 8(3), 259–274. <https://doi.org/10.1080/10412905.1996.9700612>