

FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR Pb DAN Zn DI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH PIYUNGAN, YOGYAKARTA

Kartika Eka Putri Srisena^{1*}, Wawan Budianta²

^{1,2}Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*Email: kartika.srisena@gmail.com

Abstrak

Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) sampah Piyungan di Yogyakarta merupakan salah satu tempat pembuangan sampah di Yogyakarta yang telah mengakibatkan terjadinya pencemaran tanah oleh timbal (Pb) dan Seng (Zn). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh karakteristik tanah tercemar yang diambil dari lokasi TPA Piyungan terhadap efektifitas serapan Pb serta Zn oleh tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinous L.*) Percobaan fitoremediasi dilakukan pada polybag yang diisi dengan 2 kg sampel tanah tercemar Pb dan Zn, kemudian percobaan dilakukan di dalam rumah kaca selama 3 bulan, dengan pemanenan yang dilakukan setiap bulan. Pada setiap panen, sampel tanaman dibagi menjadi bagian pucuk (kombinasi antara batang dan daun) serta akar, kemudian dianalisis konsentrasi Pb dan Zn setelah dilarutkan dalam aqua regia. Analisis konsentrasi Pb dan Zn dilakukan dengan menggunakan ICP-AES. Hasil percobaan fitoremediasi menunjukkan bahwa baik kandungan Pb maupun Zn terdeteksi seiring dengan kedalaman sampel tanah yang diambil. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan Pb dan Zn paling tinggi berada pada lapisan tanah bagian atas. Karakteristik tanah di TPA Piyungan, meliputi: pH, kandungan organik, dan kandungan mineral lempung yang mempengaruhi efektifitas serapan dalam proses fitoremediasi, terutama pada kandungan montmorilonit dalam tanah. Hal ini dikonfirmasi dari hasil perhitungan efisiensi serapan dan perhitungan mass balance serta removal efficiency yang dilakukan yang menunjukkan bahwa tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinous L.*) memiliki nilai yang relatif rendah.

Kata kunci: Fitoremediasi, tanah, pencemaran, timbal, seng.

Abstract

Piyungan waste disposal site is the largest waste disposal site in Yogyakarta and has an impact on heavy metals soil contamination, especially for lead (Pb) and zinc (Zn). This study aimed to analyze the effect of characteristics of polluted soil Pb and Zn contaminated soil in Piyungan site. The phytoremediation experiment was done in the polybags containing 2 kg contaminated soil samples and then was conducted in the greenhouse for three months and the plants were harvested each month. Plant samples were divided into roots and shoots part and the metal concentration was measured by ICP-AES after aqua regia digestion. The result of the phytoremediation experiment shows that *Jatropha curcas* and *Amaranthus spinosus L.* were detected along with the depth of the soil samples taken, which indicated that the highest Pb and Zn contents were in the top soil layer. The soil characteristics in Piyungan landfill include pH, organic content, and mineral content of clay, which affect the effectiveness of absorption in the phytoremediation process, especially in montmorillonite content in the soil. This is confirmed and the results of the calculation of absorption efficiency and the calculation of mass balance and removal efficiency show that *Jatropha curcas* and *Amaranthus spinosus L.* have relatively low values.

Keywords: Phytoremediation, soil, contamination, lead, zinc, waste.

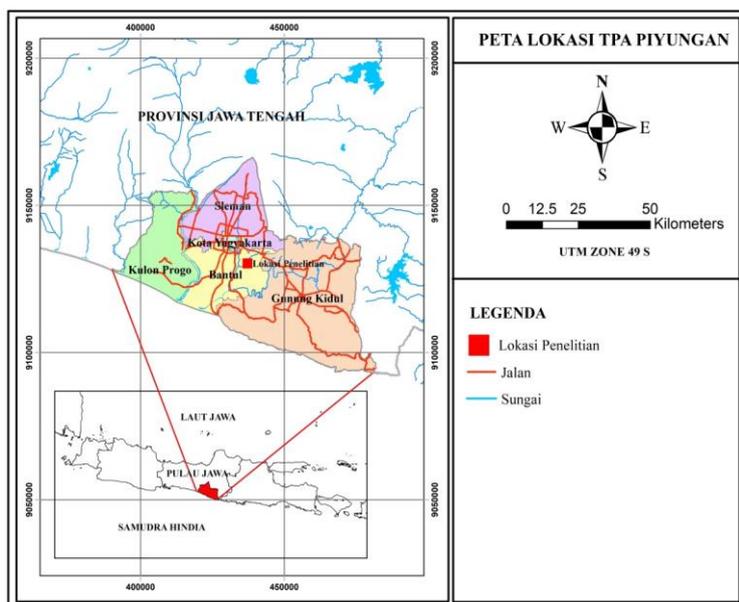
1. Pendahuluan

Pencemaran tanah logam berat di area Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah merupakan masalah yang telah banyak dijumpai pada beberapa lokasi di belahan dunia [1][2][3]. Pencemaran tanah oleh logam berat mempunyai karakteristik yang tidak sama dengan pencemaran oleh bahan organik di mana logam berat tidak dapat terbiodegradasi di dalam tanah dengan cepat dan bisa bertahan di dalam tanah dalam waktu yang sangat lama [4]. Keberadaan logam berat dalam tanah dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui tumbuhan serta dapat menjadikan masalah serius jika tanaman tersebut dikonsumsi oleh hewan dan manusia [5]. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah Piyungan merupakan salah satu tempat pembuangan sampah di Yogyakarta, Indonesia, dengan komposisi sampah berasal dari sampah rumah tangga, pasar, serta juga industri yang bersifat organik ataupun anorganik [6]. Adanya proses dekomposisi yang terjadi di TPA Piyungan akan menghasilkan air lindi (*leachate*) yang berpotensi menyebabkan pencemaran tanah dan airtanah. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem

pengumpulan *leachate* dibiarkan mengalir pada bagian bawah timbunan sampah dan dialirkan ke dalam kolam pengolahan air lindi kemudian dibuang pada saluran sungai alam yang tidak permanen [7].

Hasil penelitian sebelumnya mengenai pencemaran tanah oleh logam berat telah dilakukan oleh [8] di mana hasil penelitiannya menunjukkan adanya kandungan logam berat, terutama Pb dan Zn pada tanah di sekitar TPA Piyungan, dengan konsentrasi yang bervariasi mulai 8 mg/kg sampai dengan 12 mg/kg untuk Pb serta 10 mg/kg sampai dengan 112 mg/kg untuk Zn. Jika dibandingkan dengan konsentrasi Pb dan Zn pada kondisi alamiah batuan di lokasi TPA Piyungan, konsentrasi ini sudah menunjukkan adanya peningkatan yang diduga diakibatkan karena adanya pencemaran oleh limbah sampah. Salah satu cara meremediasi logam berat pada tanah adalah dengan metode fitoremediasi yang menggunakan tanaman sebagai hiperakumulator [9][10][11]. Fitoremediasi merupakan salah satu metode remediasi secara in-situ yang menggunakan tanaman dalam menyerap, mendegradasi, mentransformasi, serta mengimobilisasi bahan pencemar logam berat atau polutan yang ramah lingkungan [12].

Tanaman hiperakumulator yang banyak dijumpai di Indonesia adalah tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinusus L.*) di mana kedua tanaman ini sudah banyak diteliti dan mempunyai potensi yang baik sebagai media fitoremediasi untuk tanah tercemar logam berat [13][14][15]. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan percobaan fitoremediasi dengan menganalisis pengaruh karakteristik tanah tercemar yang diambil dari lokasi TPA Piyungan terhadap efektifitas serapan Pb dan Zn oleh tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinusus L.*). Hasil penelitian diharapkan akan dapat menjadikan referensi untuk pengelolaan tanah tercemar Pb dan Zn yang ramah lingkungan, terutama di sekitar lokasi TPA (Gambar 1.).



Gambar 1. Peta Lokasi TPA Piyungan

2. Metode Penelitian

2.1. Sampel tanah

Pengambilan sampel dilakukan pada batuan induk di lokasi penelitian sebagai sampel *background* yang mempunyai kandungan logam Pb dan Zn serta tanah lapukan batuan induk di luar TPA sebagai sampel tanah kontrol. Setelah itu, sampel tanah yang sudah diasumsikan tercemar oleh sampah yang diambil di sekitar lokasi TPA Piyungan juga dengan menggunakan bor (Gambar 2). Sampel tanah diambil pada 3 kedalaman, yaitu: 5 cm (sampel A), 15 cm (sampel B), dan 25 cm (sampel C), seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Ketiga sampel tanah tersebut dimasukkan ke dalam plastik dan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis. Analisis yang dilakukan, meliputi: analisis ukuran butir, kapasitas tukar kation (KTK), kandungan organik, serta kandungan Pb dan Zn.



Gambar 2. Pengambilan Sampel Tanah

Analisis ukuran butir dilakukan dengan metode ayakan [16]. Pengukuran nilai KTK dilakukan dengan metode Barium Klorida [17]. Analisis kandungan organik dilakukan dengan metode titrasi dan kolorimetri [18] sedangkan analisis konsentrasi Pb dan Zn pada sampel diukur dengan menggunakan *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP AES). Analisis mineralogi tanah dilakukan dengan menggunakan analisis dengan XRD, dengan pemanasan pada suhu 550°C.

2.2. Percobaan Fitoremediasi

Percobaan fitoremediasi dilakukan dengan menggunakan 2 jenis hiperakumulator, yaitu: tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinosis L.*) pada tanah yang tercemar Pb dan Zn yang diambil dari TPA Piyungan. Percobaan fitoremediasi dilakukan pada *polybag* yang diisi dengan 2 kg sampel tanah yang tercemar Pb dan Zn yang kemudian percobaan dilakukan di dalam rumah kaca. Percobaan fitoremediasi yang dilakukan di rumah kaca bertujuan untuk lebih memahami pola, distribusi dan akumulasi logam berat pada tanaman. Keuntungan menggunakan rumah kaca adalah menjaga suhu dan kelembapan yang dapat dipertahankan [19].



Gambar 3. (A) Percobaan Fitoremediasi pada Polybag untuk Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*), (B) Bayam (*Amaranthus Spinosis L.*), (1) Tanah Kontrol, serta (2) Tanah Tercemar Pb dan Zn

Polybag yang diisi dengan tanah kontrol yang tidak terkontaminasi dan ditunjukkan pada (Gambar 3). Tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinosis L.*) kemudian dipanen setiap bulan selama kurun waktu 3 bulan. Setelah dipanen, tanaman dibagi menjadi 2 bagian, yaitu: bagian pucuk (kombinasi batang dan daun) serta akar yang kemudian dibersihkan dengan air murni untuk menghilangkan partikel tanah yang masih menempel dan dikeringkan pada suhu 35°C untuk mendapatkan berat kering tanaman.

Sampel tanaman kering yang didapatkan kemudian digiling serta ditimbang untuk dianalisis konsentrasi Pb dan Zn setelah dilarutkan ke dalam 25 ml *aqua regia*. Analisis konsentrasi Pb dan Zn dilakukan dengan menggunakan ICP-AES.

3. Hasil dan Analisis

Hasil analisis pada sampel tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Secara umum, ketiga sampel termasuk ke dalam jenis tanah berpasir, dengan variasi kandungan ukuran butir halus (lanau – lempung)

yang tidak berbeda signifikan. Kandungan organik pada ketiga sampel menunjukkan adanya kandungan organik yang cukup rendah, dengan nilai KTK yang hampir sama. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa secara umum kandungan Pb dan Zn sampel *background* masih berada dalam kisaran kondisi geokimia alamiah [20].

Tabel 1. Sifat Fisik dan Kimia serta Konsentrasi Pb dan Zn Ada Sampel

Sampel	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	KTK (meq/100 gram)	Ukuran Butir (% Lanau-Lempung)	Kandungan Organik (%)
Tanah A ¹	45	89	12	16	4
Tanah B ²	41	76	10	17	3
Tanah C ³	38	68	9	16	3
Tanah Kontrol	25	45	8	12	3
Batuan Induk	19	56	-	-	-
Rata-rata	16	43	-	-	-
Kerak Bumi*					
Batuan Vulkanik*	18	45	-	-	-

*[20]

¹tanah A kedalaman 5 cm

²tanah A kedalaman 15 cm

³tanah A kedalaman 25 cm

Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi penambahan kandungan Pb dan Zn pada ketiga sampel tanah yang diinterpretasi berasal dari sampah di TPA. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa baik kandungan Pb maupun Zn terdeteksi, seiring dengan kedalaman sampel tanah yang diambil yang menunjukkan bahwa kandungan Pb dan Zn paling tinggi berada pada lapisan tanah bagian atas. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi migrasi Pb dan Zn sampai dengan kedalaman 25 cm (Tabel 1).

3.1. Mineralogi Tanah

Hasil analisis untuk kandungan mineralogi pada tanah TPA Piyungan dapat dilihat pada Tabel 2. Dari hasil sampel yang ditunjukkan pada tabel tersebut, terdeteksi adanya kandungan mineral montmorilonit, illit, kaolinit, plagioklas, dan kuarsa sedangkan mineral yang dominan muncul adalah illit dan montmorilonit, yaitu: $2\theta = 17.68^\circ$ dan 8.861° .

Illit, terdiri atas satu lapisan alumina antara dua lapisan silica, dengan tebal satu satuan unit adalah 10 \AA , tidak berubah jika diberi larutan *glycol*, struktur satuan kristalnya 2:1, dan hampir sama dengan montmorilonit. Mineral lempung memiliki kapasitas untuk menarik kation-kation dari dalam air atau kapasitas tukar kation (KTK).

Monmorilonit termasuk kelompok mineral smektit, struktur mineral 2:1, serta mempunyai beberapa sifat yang spesifik sehingga keberadaannya dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah. Struktur kisinya tersusun atas satu lempeng Al_2O_3 di antara dua lempeng SiO_2 . Pada struktur inilah, monmorilonit dapat mengembang, menyusut, dan mempunyai sifat penting, yaitu: mempunyai muatan negatif yang menyebabkan mineral ini sangat reaktif terhadap lingkungan. Hasil dari sampel data yang ditunjukkan memiliki hasil yang sama dengan penelitian sebelumnya [8] yang menyatakan bahwa analisis kandungan mineralogi pada Piyungan menunjukkan mineral illit dan montmorilonit yang terdeteksi lebih dominan dibandingkan dengan mineral yang lain.

Tabel 2. Analisis XRD pada Tanah TPA Piyungan

No. Peak	2-Theta (Degree)	D (\AA)	Mineral
1.	8.861	9.97	Illit
2.	17.68	5.012	Monmorilonit
3.	19.484	4.552	Illit
4.	20.159	4.401	Kaolinit
5.	21.839	4.066	Kaolinit
6.	26.518	3.358	Plagioklas
7.	27.665	3.221	Kuarsa

3.2. Efisiensi Serapan Pb dan Zn pada Tanaman

Tabel 3 dan 4 menunjukkan pengaruh waktu pemanenan antara tanaman jarak pagar dan bayam terhadap nilai efisiensi penyerapan konsentrasi Pb dan Zn di tanah tercemar dan tanah kontrol. Nilai efisiensi serapan Pb dan Zn pada tanaman jarak pagar dan bayam dihitung dengan menggunakan rumus (1).

$$\text{Efisiensi Serapan} = \frac{C}{D} \times 100\% \quad (1)$$

Berdasarkan Tabel 3. dan 4., dapat diketahui bahwa hubungan waktu pemanenan antara tanaman jarak pagar dan bayam berpengaruh pada nilai efisiensi penyerapan konsentrasi Pb dan Zn di tanah tercemar dan tanah kontrol. Pada tingkat efisiensi penyerapan kontaminan Pb jarak pagar dan bayam yang terbaik berdasarkan hasil ditunjukkan pada waktu pemanenan 3, terutama untuk tanah A dengan nilai 5.3 % untuk tanaman jarak pagar dan 7.1 % untuk tanaman bayam. Adapun pada tanah kontrol juga pada pemanenan ke-3, dengan nilai 0.7 %. Pada efisiensi serapan Zn juga ditunjukkan pada pemanenan ke-3 pada tanah A, dengan nilai 8.0 % pada tanaman jarak pagar dan 6.5 % pada tanaman bayam. Adapun untuk tanah kontrol pada pemanenan 3, dengan nilai 3.2 %.

Tabel 3. Efisiensi (%) Serapan Konsentrasi Pb pada Sampel Jarak Pagar dan Bayam

Tanaman/ Waktu Pemanenan	Tanah Kontrol	Tanah Tercemar (%)					
		Jarak Pagar (<i>Jatropha Curcas</i>)			Bayam (<i>Amaranthus Spinusos L</i>)		
		A	B	C	A	B	C
Pemanenan 1	0.4	4.9	3.2	2.1	4.4	1.2	1.1
Pemanenan 2	0.6	5.1	3.7	2.9	6.2	2.0	1.3
Pemanenan 3	0.7	5.3	4.4	3.2	7.1	2.9	2.4

Tabel 4. Efisiensi (%) Serapan Konsentrasi Zn pada Sampel Jarak Pagar dan Bayam

Tanaman/ Waktu Pemanenan	Tanah Kontrol	Tanah Tercemar (%)					
		Jarak Pagar (<i>Jatropha Curcas</i>)			Bayam (<i>Amaranthus Spinusos L</i>)		
		A	B	C	A	B	C
Pemanenan 1	2.4	6.4	6.8	5.9	5.8	4.9	2.6
Pemanenan 2	2.8	6.9	7.2	6.5	6.2	5.0	3.2
Pemanenan 3	3.2	8.0	8.0	7.2	6.5	5.4	3.8

3.3. Analisis Perhitungan *Mass Balance* serta *Removal Efficiency* Pb dan Zn dalam Tanah setelah Fitoremediasi

Pada hasil analisis *mass balance*, didapatkan hasil konsentrasi Pb dan Zn yang tersisa dalam tanah setelah fitoremediasi yang didapatkan konsentrasi Pb pada tanaman jarak pagar yang dihasilkan sampel A, B, dan C, dengan *mass balance*, yaitu: 42.6, 39.2, dan 36.8 mg/kg serta menghasilkan *removal efficiency*, yaitu: 5.33, 4.39, dan 3.16 %. Pada konsentrasi Pb pada tanaman bayam, dihasilkan sampel A, B, dan C, dengan *mass balance*, yaitu: 41.8, 39.8, dan 37.1 mg/kg serta menghasilkan *removal efficiency*, yaitu: 7.11, 2.93, dan 2.37 %. Pada konsentrasi Zn pada tanaman jarak pagar, dihasilkan sampel A, B, dan C, dengan *mass balance*, yaitu: 81.9, 69.9, dan 63.1 mg/kg serta menghasilkan *removal efficiency*, yaitu: 7.98, 8.03, dan 7.21 %. Adapun pada konsentrasi Zn pada tanaman bayam, dihasilkan sampel A, B, dan C, dengan *mass balance*, yaitu: 83.2, 71.9, dan 65.4 mg/kg serta menghasilkan *removal efficiency*, yaitu: 6.52, 5.39, dan 3.82 %.

Berdasarkan hasil yang didapatkan, nilai perhitungan yang telah dilakukan pada tanaman jarak pagar dan bayam dalam analisis *mass balance* dan *removal efficiency* menunjukkan efektifitas logam berat Pb dan Zn yang diserap oleh tanaman, dengan nilai yang relatif rendah. Hal ini dapat terjadi diakibatkan oleh mineral tanah pada penelitian ini didominasi oleh mineral montmorilonit yang mempunyai muatan negatif yang menyebabkan mineral ini sangat reaktif terhadap lingkungan, sehingga berpengaruh terhadap sifat fisik dan kimia tanah. Hal ini yang menyebabkan nilai yang dihasilkan dalam perhitungan *mass balance* dan *removal efficiency* tidak jauh berbeda dengan efektifitas serapan < 10 %.

3.4. Pengaruh Karakteristik Tanah terhadap Efektifitas Serapan

Efektifitas serapan pH berperan dalam mempengaruhi mobilitas logam berat dalam tanah [21]. Logam berat pada umumnya akan berada dalam kondisi yang lebih *mobile* pada pH yang rendah di mana dalam keadaan mobilitas yang tinggi, akan semakin mudah terserap oleh tanaman hiperakumulator. Pada percobaan dalam penelitian ini, tanah yang diambil dari lokasi cenderung mendekati netral, sehingga mobilitas Pb dan Zn dalam tanah akan cenderung stabil serta mengurangi daya serap jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinosus L.*) yang hanya berkisar pada angka kurang dari 10 % di mana hal serupa juga ditunjukkan oleh hasil penelitian lain [22].

Secara teori, kandungan organik dalam tanah akan mempengaruhi kemampuan daya serap tanaman hiperakumulator dalam proses fitoremediasi [23]. Material organik yang mempunyai sifat mengikat logam berat dalam tanah karena menghasilkan organik logam kompleks. Sampel tanah yang diambil untuk penelitian ini cenderung mempunyai kandungan organik yang rendah. Hal tersebut seharusnya akan membuat kemampuan daya serap tanaman menjadi lebih tinggi. Namun, hasil percobaan menunjukkan bahwa daya serap hanya berkisar kurang dari 10 %. Hal ini diduga karena adanya kehadiran mineral lempung yang mungkin dapat mengurangi daya serap jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus spinosus L.*). Hal ini konsisten dengan hasil penelitian lain yang menunjukkan bahwa kandungan mineral lempung, terutama montmorilonit akan mengurangi serapan logam berat oleh tanaman hiperakumulator [24].

Secara umum, karakteristik tanah di TPA Piyungan mempunyai pH yang relatif normal dan kandungan organik yang rendah namun mempunyai kandungan monmorilonit. Hal ini yang diduga berperan dalam mempengaruhi efisiensi serapan Pb dan Zn oleh jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinosus L.*).

Pada percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini, hasil efisiensi serapan yang lebih baik ditunjukkan oleh penelitian lain yang mempunyai efisiensi serapan lebih dari 10 % namun tanah yang digunakan secara umum tidak mengandung montmorilonit [14]. Penambahan chelating agen (asam oksalat, asam sitrat, asam tartarat, dan asam maleat) pada tanah untuk bisa meningkatkan mobilitas Pb dan Zn disarankan merujuk pada beberapa penelitian lain yang menunjukkan bahwa penambahan chelating agen akan membuat ion logam lebih mudah terlepas dari partikel tanah [25][26][27].

4. Kesimpulan

Hasil percobaan fitoremediasi menunjukkan karakteristik tanah di TPA Piyungan, meliputi: pH, kandungan organik, dan kandungan mineral lempung mempengaruhi efektifitas serapan dalam proses fitoremediasi, terutama pada kandungan montmorilonit dalam tanah. Hal ini dikonfirmasi dari hasil perhitungan efisiensi serapan serta perhitungan *mass balance* dan *removal efficiency* yang dilakukan menunjukkan bahwa tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas*) dan bayam (*Amaranthus Spinosus L.*) memiliki nilai yang relatif rendah (< 10 %). Namun demikian, kedua tanaman ini mempunyai potensi yang cukup baik dan dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai kandidat tanaman hiperakumulator di lokasi TPA Piyungan.

Daftar Pustaka

- [1] Liu, C., Cui, J., Jiang, G., Chen, X., Wang, L., Fang, C. Soil Heavy Metal Pollution Assessment Near the Largest Landfill of China. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. 2013; 22(4): 390-403.
- [2] Bahaa-Eldin, E. A. R., Yusoff, I., Rahim, S. A., Wan Zuhairi, W. Y., Abdul Ghani, M. R. Heavy Metal Contamination of Soil Beneath a Waste Disposal Site at Dengkil, Selangor, Malaysia. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. 2008; 17(5): 449-466.
- [3] Ihedioha, J. N., Ukoha, P. O., Ekere, N. R. Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Soil of a Municipal Solid Waste Dump in Uyo, Nigeria. *Environmental Geochemistry and Health*. 2017; 39(3): 497-515.
- [4] Marschner, B., Kalbitz, K. Controls of Bioavailability and Biodegradability of Dissolved Organic Matter in Soils. *Geoderma*. 2003; 113(3-4): 211-235.
- [5] Huang, S. S., Liao, Q. L., Hua, M., Wu, X. M., Bi, K. S., Yan, C. Y., Chen, B., Zhang, X. Y. Survey of Heavy Metal Pollution and Assessment of Agricultural Soil in Yangzhong District, Jiangsu Province, China. *Chemosphere*. 2007; 67(11): 2148-2155.
- [6] Sihombing, A. L., Darmawan, R. Municipal Solid Waste Characteristic and Energy Potential in Piyungan Landfill. *Applied Mechanics and Materials*. 2020; 898: 58-63.

- [7] Shaylinda, N. M. Z., Amani, N. F. M. K., Mohd-Salleh, S. N. A., Shahar, M. S. *Investigation of Heavy Metals Pollution in Piyungan Landfill Underground and Surface Water*. IOP Publishing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020; 498 (1): 012080.
- [8] Wijanarko, H. *Kajian Pencemaran Tanah oleh Pb dan Zn di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Piyungan, Kabupaten Bantul*. Skripsi. Sleman: Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada; 2011.
- [9] Nagendran, R., Selvam, A., Joseph, K., Chiemchaisri, C. Phytoremediation and Rehabilitation of Municipal Solid Waste Landfills and Dumpsites: A Brief Review. *Waste Management*. 2006; 26(12): 1357-1369.
- [10] Ali, H., Khan, E., Sajad, M. A. Phytoremediation of Heavy Metals-Concepts and Applications. *Chemosphere*. 2013; 91(7): 869-881.
- [11] Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M. R., Ishaque, W., Kamran, M. A., Matloob, A., Hussain, S. Phytoremediation Strategies for Soils Contaminated with Heavy Metals: Modifications and Future Perspectives. *Chemosphere*. 2017; 171: 710-721.
- [12] Cristaldi, A., Conti, G. O., Jho, E. H., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., Ferrante, M. Phytoremediation of Contaminated Soils by Heavy Metals and PAHs. A Brief Review. *Environmental Technology & Innovation*. 2017; 8: 309-326.
- [13] Marrugo-Negrete, J., Durango-Hernández, J., Pinedo-Hernández, J., Olivero-Verbel, J., Díez, S. Phytoremediation of Mercury-Contaminated Soils by *Jatropha Curcas*. *Chemosphere*. 2015; 127: 58-63.
- [14] Chang, F. C., Ko, C. H., Tsai, M. J., Wang, Y. N., Chung, C. Y. Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil by *Jatropha Curcas*. *Ecotoxicology*. 2014; 23(10): 1969-1978.
- [15] Watanabe, T., Murata, Y., dan Osaki, M. *Amaranthus Tricolor* has the Potential for Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2009; 40(19-20): 3158-3169.
- [16] ASTM International. *Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils*. ASTM D422-63. 2002.
- [17] Schwertfeger, D. M., Hendershot, W. H. Determination of Effective Cation Exchange Capacity and Exchange Acidity by a One-Step BaCl_2 Method. *Soil Science Society of America Journal*. 2009; 73(3): 737-743.
- [18] Walkley, A., Black, I.A. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromicacid Titration Method. *Soil Science*. 1934; (37): 29-38.
- [19] Datta R., Quispe M. A., Sarkar D. Greenhouse Study on the Phytoremediation Potential of Vetiver Grass, *Chrysopogon Zizanioides* L., in Arsenic-Contaminated Soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2011; 86(1): 124-128.
- [20] Wedepohl, K.H. The Composition of the Continental Crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995; 59(7): 1217-1232.
- [21] Huang, J. W., Chen, J. Role of pH in Phytoremediation of Contaminated Soils. *Handbook of Soil Acidity*. 2003: 449-472.
- [22] Lian, M. H., Sun, L. N., Hu, X. M., Tang G, J. X. Effect of Soil pH on Phytoremediation of Sedum *Alfredii* Hance in Cd and Zn Contaminated Soil. *Chinese Journal of Ecology*. 2014; 33(11): 3068.
- [23] Farrag, K., Senesi, N., Rovira, P. S., Brunetti, G. Effects of Selected Soil Properties on Phytoremediation Applicability for Heavy-metal-contaminated Soils in the Apulia region, Southern Italy. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2012; 184(11): 6593-6606.
- [24] Yanai, J., Zhao, F. J., McGrath, S. P., Kosaki, T. Effect of Soil Characteristics on Cd Uptake by the Hyperaccumulator *Thlaspi Caerulescens*. *Environmental Pollution*. 2006; 139(1): 167-175.
- [25] Wu, L. H., Luo, Y. M., Xing, X. R., Christie, P. EDTA-Enhanced Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil with Indian Mustard and Associated Potential Leaching Risk. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2004; 102(3): 307-318.
- [26] Seth, C. S., Misra, V., Singh, R. R., Zolla, L. EDTA-Enhanced Lead Phytoremediation in Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) Hydroponic Culture. *Plant and Soil*. 2011; 347(1-2): 231.
- [27] Shahid, M., Austruy, A., Echevarria, G., Arshad, M., Sanaullah, M., Aslam, M., Dumat, C. EDTA-Enhanced Phytoremediation of Heavy Metals: a Review. *Soil and Sediment Contamination: an International Journal*. 2014; 23(4): 389-416.

