

**PENGEMBANGAN TEKNIK PENCUCIAN TANAH UNTUK
REMEDIASI LOGAM BERAT PADA TANAH YANG
TERKONTAMINASI**

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Diajukan oleh:

**JUMIATI PUSPITA SARI
NIM. 150702001
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2020 M / 1442 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

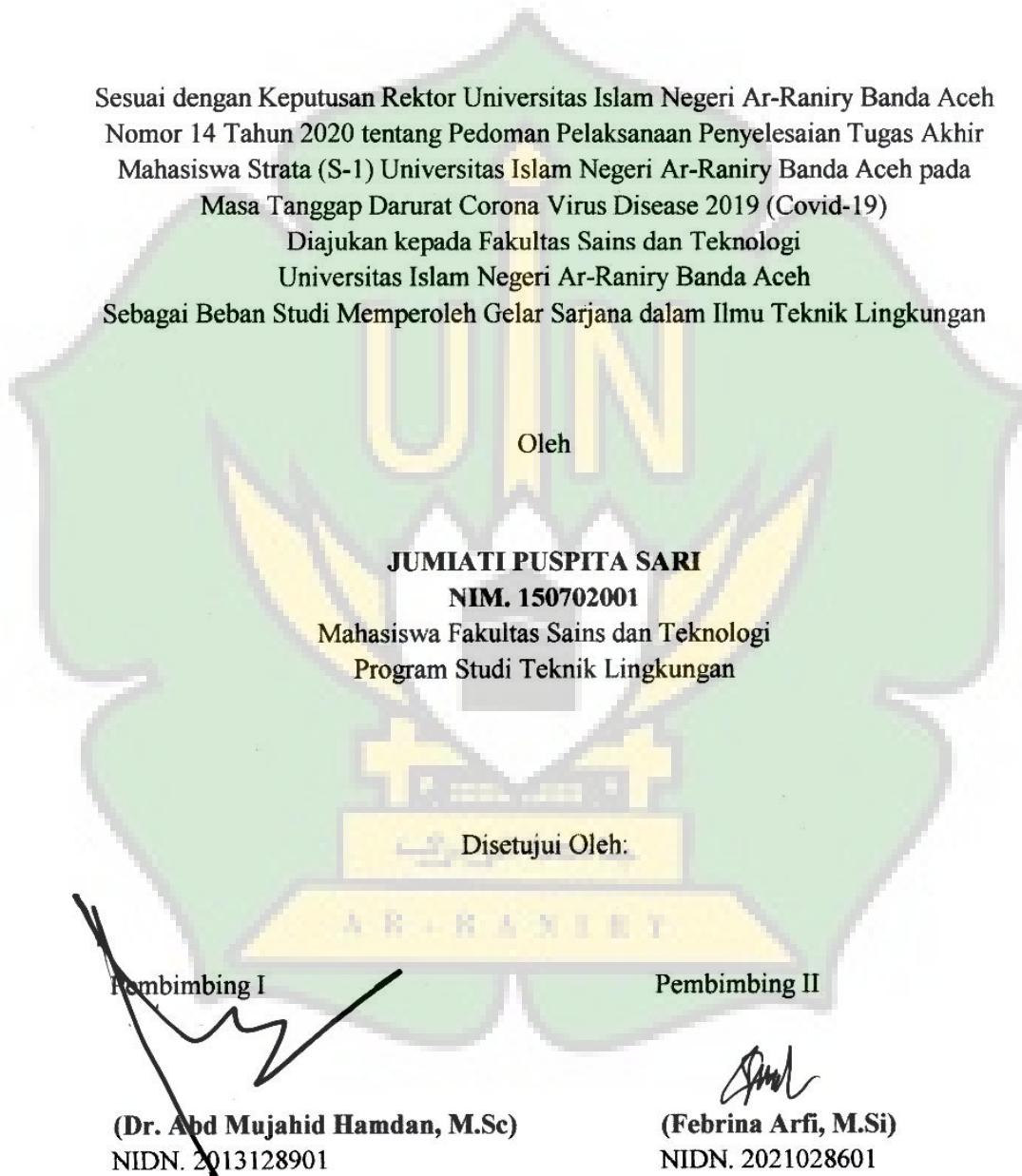
PENGEMBANGAN TEKNIK PENCUCIAN TANAH UNTUK REMEDIASI LOGAM BERAT PADA TANAH YANG TERKONTAMINASI

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Sesuai dengan Keputusan Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh Nomor 14 Tahun 2020 tentang Pedoman Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir Mahasiswa Strata (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada Masa Tanggap Darurat Corona Virus Disease 2019 (Covid-19)

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh

Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan



LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN TEKNIK PENCUCIAN TANAH UNTUK REMEDIASI LOGAM BERAT PADA TANAH YANG TERKONTAMINASI

TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

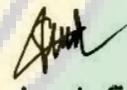
Pada Selasa, 25 Agustus 2020
Hari/Tanggal: 6 Muharam 1442

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir Terjemahan Artikel Jurnal Ilmiah

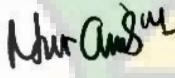
Ketua,

Dr. Abu Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN.2013128901

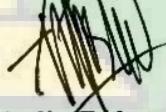
Sekretaris,


Febrina Arfi, M.Sc.
NIDN.2021028601

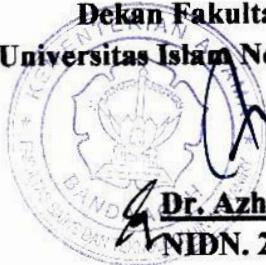
Pengisi I,

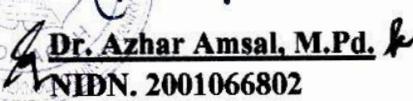

Dr. Eng. Nur Aida, M.Sc.
NIDN. 2016067801

Pengisi II


Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh




Dr. Azhar Amsal, M.Pd.
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Nama : Jumiati Puspita sari
NIM : 150702001
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Artikel : Enhanced Techniques of Soil Washing for the Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soils. Agricultural Reserch. No.7. Hal. 99-104. 2018. <http://doi.org/10.1007/s40003-018-0302-1>.
Judul Terjemahan : Pengembangan Teknik Pencucian Tanah Untuk Remediasi Logam Berat pada Tanah yang Terkontaminasi

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Terjemahan Artikel Jurnal Ilmiah ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 25 Agustus 2020
Yang Menyatakan,



Jumiati Puspita Sari

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T., karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pengganti Skripsi yaitu menerjemahkan Artikel Jurnal Ilmiah dengan judul “**Enhanced Techniques of Soil Washing for the Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soils**” Shalawat dan salam teruntuk Rasulullah Muhammad SAW. sebagai pencetus pengetahuan di dunia. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana pada Program Studi Strata-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Perjalanan panjang telah penulis tempuh dalam rangka menyelesaikan Tugas Akhir ini, penyelesaian Tugas Akhir mengalami kendala karena pandemi Virus Corona atau Covid-19. Namun berdasarkan keputusan Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry No. 14 Tahun 2020 tentang pedoman pelaksanaan penyelesaian Tugas Akhir mahasiswa Strata satu (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada masa tanggap darurat Covid-19. Maka penulis mengambil pilihan untuk menerjemahkan Artikel Ilmiah.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, beserta kakak dan sanak saudara yang senantiasa memberikan doa dan dukungan selama penyelesaian Tugas Akhir.
2. Dr. Abdullah Mujahid Hamdan, M.Sc. Selaku Pembimbing I, yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir.
3. Febrina Arfi, M.Si. Selaku Pembimbing II, yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap permasalahan Tugas Akhir.

4. Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. Selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan.
5. Yeggi Darnas, S.T. M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, juga dosen pengampu bidang TLPB3 yang telah berkenan memberikan ilmu dan arahan.
6. Teuku Muhammad Ashari, M.Sc. Selaku dosen wali dan selaku dosen wali yang telah banyak memberikan arahan, motivasi dan dukungan selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Dosen Prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan membagi ilmunya kepada penulis.
8. Seluruh bidang Tata Usaha yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
9. Teman-teman seperjuangan di Teknik Lingkungan angkatan 2015 yang selalu memberikan dorongan semangat serta motivasi.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan limpahan berkah dan rahmat-Nya. Semoga penulisan ini dapat bermanfaat untuk pengembangan keilmuan dan pengetahuan di masa depan.

Banda Aceh, 25 Agustus 2020
Penulis,

Jumiati Puspita Sari

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I ARTIKEL JURNAL ILMIAH YANG DITERJEMAHKAN	1
1.1 introduction	2
1.2 Solubility and Availability of Metals in the Soils	2
1.3 Conclusions.....	8
1.4 Acknow ledgements.....	9
REFERENCES	10
BAB II HASIL TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH	15
2.1 Pendahuluan.....	16
2.2 Kelarutan dan Ketersediaan logam Dalam Tanah	16
2.3 Kesimpulan	23
2.4 Ucapan Terima Kasih	24
BAB III PEMBAHASAN	25
3.1 Identitas artikel jurnal ilmiah	25
3.2 Kebaruan Artikel.....	26
3.3 Kelebihan Artikel.....	27
3.4 Kekurangan Artikel.....	28
3.5 Dampak Artikel.....	29
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....	30
1. Kesimpulan	30
2. Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	32

DAFTAR TABEL

Table 1	Effect of washing time on heavy metal removal rate (%)	5
Table 2	Effects of organic acids on the soil pH.....	5
Table 3	Different sewage sludge treatments.....	6
Table 4	Changes of HM under different sewage sludge treatments.....	6



BAB I

ARTIKEL JURNAL ILMIAH YANG DITERJEMAHKAN

Enhanced Techniques Of Soil Washing For The Remediation Of Heavy Metal-Contaminated Soils

Xu Yang. Xinyu Mao. Xiaohou Shao. Fengxiang Han. Tingting Chang. Hengji Qin. Minhui Li.

Abstract

Soil washing has been developed as one of the ex situ traditional remediation methods for heavy metal polluted soils. It has been found to be effective in metal extraction. However, due to the distribution and speciation in soils, most metal (loid)s are present in less mobile forms which limit the washing efficiency. Therefore, methods are studied to enhance the washing performance by increasing the metals solubility and availability. This paper introduces some currently used methods and technologies, including the optimization of washing variables, lowering soil pH, application of assisted amendments and integration of electrokinetic remediation and ultrasonication to enhance the removal of metals. In addition, it also suggests some further studies.

Keywords: Soil washing, metals solubility, assisted technologies.

1.1 Introduction

The soil contamination by heavy metal (loid)s has become a serious environmental problem with rapid industrialization and urbanization. Generally, the contamination is resulted from anthropogenic actives such as mining, domestic waste discharge, agricultural production and industrial activities [26]. Due to the persistence, high toxicity and potential carcinogenic characteristics, heavy metal (loid)s such as Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Cs, Se, Zn and As have adverse effects on human health through food chain [12].

Soil washing has been developed as one of the ex situ traditional remediation methods for heavy metal polluted soils. It is a process of dissolving metals/metalloids with extractants and of concentrating them into a small volume via particle size separation [28]. It has been proved to be effective on soils with higher permeability. Successful soil washing is usually dependent on the concentrations of soluble trace metals while most metals are less mobile due to their distribution and speciation in soils [22]. The low solubility and availability of trace metals may limit the washing efficiency. Optimization of washing variables such as extractant dosage, contact time and washing temperature can effectively improve the remediation performance [44]. However, some details need more investigation for economic considerations. On the other hand, lowering soil pH and application of assisted amendments can release metals from soil–solid components through ion exchange, dissolution and metal sorption/ desorption processes. In addition, other enhanced technologies such as electro-kinetic remediation and ultrasonication are feasible to couple with soil washing while investigation on the remediation mechanisms, postremediation and recycling methods need further studies for field tests[3].

1.2 Solubility and Availability of Metals in the Soils

It is well known that metal (loid)s are distributed in soils in various chemical forms [10]. Basically, metal(lloid)s in soils are divided into labile fractions, i.e., water-soluble and exchangeable fractions and other solid-phase components such as carbonate, iron/manganese oxide, organically bound and residual fractions [37]. The solubility of metal (loid)s in soils, especially the concentration of labile metals in soils, is the critical criteria for successful soil

washing [28]. However, processes such as precipitation or strong binding to soil particles make a large portion of soil metals insoluble and unavailable [19]. Only the watersoluble and exchangeable fractions can be easily extracted with soil washing [26]. In addition, the water-soluble and exchangeable fractions of metal (loid)s can be transformed from other solid-phase components with alternations of soil properties and environmental conditions [11]. Therefore, increasing the metals solubility and availability is the current issue for improving soil washing efficiency of heavy metal (loid)s. The following methods are suggested to improve metal washing efficiency:

a) Optimization of Washing Variables

It was reported that successful extraction of heavy metals is dependent on the nature of pollutants and washing variables [44]. Since the nature of contaminants includes the speciation and distribution of metal(oid)s, and their concentration, solubility is fixed for certain contaminated soils [22]. Thus, optimization of operation variables such as extractant dosage, contact time and washing temperature becomes pertinent for improving washing efficiency [44].

The dosage of extractant includes extractant concentrations and liquid/solid (L/S) ratio which is another factor affecting washing efficiency. The removal of trace metals was proportional to the extractant dosage [32,36]. Extracting solution with higher concentration and L/S ratio offers sufficient chelating sites for target metals to form possible complexes and avoids the competition from other ions (e.g., Fe) for binding sites on soil surface or complexing reagents [36]. Moreover, it prevents labile metals from reabsorption [43]. However, for economical consideration, sequential extraction with concentrated extractants is preferred for practical applications [1]. On the other hand, contact time is significant for soil washing since the desorption of metal (loid)s is a kinetic equilibrium process [44]. With the increase in washing time, most soluble metals are extracted and replenished from those in solidphase fractions including exchangeable fraction. It can be seen from Table 1 that the removal rate of As, Cu and Pb increased with the increase of washing time in the initial stage, and reached the maximum at 30 min, but then with the longer washing time, the removal rate is reduced. And the removal rate of Cd increased

with the increase in washing time, and reached the maximum at 120 min. For As, Cu and Pb, desorption has been more adequate when the washing time at 30 min, and as the washing time goes on, the reabsorption of heavy metals and soil particles in the solution is dominant, so the removal rate was decreased [41].

In terms of washing temperature, high temperature can provide sufficient energy for the transformation of soluble metals from soil solid-phase components [9].

b) Lowering Soil pH

Lowering soil pH refers to the change of soil properties. The mechanisms of lowering soil pH for improving metals solubility include metal-bounded oxides dissolution, ion exchange and metal sorption/desorption [15]. It can be seen from Table 2 that the effects of different organic acids on soil pH were different, the pH of soil was decreased largest by citric acid treatment, attained 4.49, the decline degree is 0.67, then oxalic acid treatment, attained 4.55, the decline degree is 0.61, the acetic acid treatment is the lowest, only reached 4.58, the decline degree is 0.58 [42].

Additionally, lowering soil pH can help release trace metals from soil solid-phase components by influencing soil retention capacity [31]. In general, most metals solubility increase with the decrease in soil pH [15]. The elevated H^+ , act as competitive cations, can replace the adsorbed metals through cation exchange. In the meanwhile, the H^+ ions positively charge the soil particles and promote the desorption of metals from soil surface [31]. Strong acids such as HCl and HNO_3 are most used for lowering soil since their highly effectiveness. However, they also bring the risks of damaging soil structures and properties [2]. Organic acid such as citric acid is not as effective as strong acid [40]. Nevertheless, it is biodegradable and lowers soil pH to some extent without the risk of secondary pollution to groundwater. Therefore, environmental friendly organic acids are preferable for lowering soil pH and needed further investigation.

c) Assisted Amendments

Assisted amendments are used with soil washing for the remediation of soil heavy metals. They improve soil metals solubility and availability through

adsorption, complexation and precipitation reactions [3]. The amendments generally include chelants, complexing agents and organic amendments [25].

Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) is the most common used chelant which presented strong chelating

Tabel 1 Effect of washing time on heavy metal removal rate (%)

Heavy metal washing time (min)	10	20	30	60	120
Cd	31,3	33,5	34,2	35,3	37,7
As	10,2	10,9	12,1	10,6	10,2
Cu	15	15,4	19,3	18,5	19,1
Pb	16,7	17,3	25,2	24,6	24,3

Table 2 Effects of organic acids on the soil pH

Treatments	CK	Acetic acid	Oxalic acid	Citric acid
pH	5,16	4,58	4,55	4,49

The CK treatment is add 50 ml distilled water to 20 g soil sample

ability to a variety of heavy metals (e.g., Fe, Cu, Pb and Zn) in soils [12, 21]. However, EDTA is quite persistent and less biodegradable in the soil environment which will result in the secondary pollution in ground water [8]. In addition, due to the inherent toxicity of EDTA, post-remediation of treatment and disposal of extraction fluid becomes a problem [23]. Ebrahimi [7] found diethylenetriamine pentaacetate (DTPA) had great potential for improving metals solubility in soils. However, DTPA exhibits toxic effects and causes the contamination of groundwater [7]. Recently, organic acids such as citric acid and acetic acid alleviated these concerns due to their environmental friendliness and cost effectiveness [21]. In order to show the variations of HM concentrations, we selected 4 kinds of sewage sludge treatments (T1, T2, T3 and T4); among them, the contents of moisture content, organic carbon, kjeldahl nitrogen and pH are shown in Table 3. The HM was determined by K₂Cr₂O₇ volumetric method, the extraction procedure is that weigh about 0.2 g samples into a 250-ml flask, plus Na₄P₂O₇ solution 70 ml, shake, placed in boiling water bath for 30 min, removed

and cooled to room temperature, the extract was washed through a small funnel 100-ml volumetric flask, and then washed with water triangle bottle several times, all the lotion into the volumetric flask, constant volume. Weigh filtrate 5 ml and 0.8 mol L-1 $K_2Cr_2O_7$ solution 5 ml into 250-ml flask, add concentrated sulfuric acid 15 ml, shake quickly, put in boiling water bath for 30 min, cooled to room temperature, then add 80 ml of water, add 3 drops of $C_{12}H_8N_2.H_2O$ indicator, titration with $FeSO_4.7H_2O$ solution until the solution changes from yellow to brick red as the end point. The calculation formula of HM is as follows:

$$HM = (V_0 - V) \times c \times 3 \times 10^{-3} \times M \times 100/(m.f) \quad (1)$$

Where V_0 is the blank determination of the volume of $FeSO_4.7H_2O$ consumed, V is the sample determination of the volume of $FeSO_4.7H_2O$ consumed, c is the concentration of $FeSO_4.7H_2O$, M is total volume of sample extract (ml)/determination of the volume of the extract used (ml), m is weigh the quality of dry samples (g), and f is HM of carbon content coefficient.

It can be seen from Table 3.4 that different sewage sludge treatments have different HM; among them T4 is the largest and attains 161.3; then T2 attains 140.5; T3 is the lowest and reaches 123.6. The results showed that the content of HM was increased not obvious, and it was closely related to the moisture content, organic carbon, kjeldahl nitrogen and pH of sewage sludge.

Therefore, they may be proper alternatives to EDTA and DTPA for short-term treatment [4].

Complexing agents increase metals solubility through ion exchange [16].

Table 3 Different sewage sludge treatments

Sewage sludge	Moisture content (%)	Organic carbon (g kg ⁻¹)	Kjeldhal nitrogen (g kg ⁻¹)	pH
T1	83.41	35.32	35.75	7.52
T2	75.06	387.18	31.50	7.67
T3	66.06	206.94	24.79	7.73
T4	54.03	250.89	32.17	7.58

Treatment	T1	T2	T3	T4

HM	133.2	140.5	123.6	161.3
----	-------	-------	-------	-------

Table 4 Changes of HM under different sewage sludge treatments

They can compete binding sites on soil particles with target metal ions and may also decrease readsorption of extracted ionic species to soil minerals. Acetic acid (CH_3COOH), cyclodextrins and ammonium acetate ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) are frequently used complexing agents. Ions like I^- , Cl^- and OH^- can form soluble complexes such as $[\text{HgI}_4]^{2-}$, $[\text{CuCl}_4]^{2-}$, $[\text{Cr(OH)}_4]^-$ and $[\text{Cr(OH)}_3]^{2-}$ with metal ions [34]. They have low affinity to be absorbed on soil surface and are effective in a wide pH range: most trace metals (Pb, Zn, Cs, Cr) can easily form complexes with complexing agents under low pH while some others (e.g., As) favor alkaline environment due to they are in anionic forms and can form stable complexes under high pH [20].

Organic amendments such as sewage sludge and green waste composts can directly or indirectly alter the distribution and availability of soil metals. It was suggested that metals movement in soil was related to the amount of organic matters in soil [14]. Several reports revealed that amended compost increased as mobility due to the competing effect of DOC and soluble P component in compost with as for sorption sites [25]. Moreno-Jimenez et al. [29] discovered the mobilization of As, Cu and Se in flooded soils after the application of olive mill waste compost. On the other hand, compared with chelating agents, traditional organic materials such as rice straw and clover were reported to be much more environmental friendly couple used with soil washing [38].

Because rice straw is an organic material that may increase the short-term solubility of heavy metals, and straw contains substantial amounts of organic compounds which may be able to re-distribute heavy metal fractions in soil. It has been reported that more than six hundred million tons of straw are produced each year in China, more than 50% of which is burned for immediate land clearing and rapid waste disposal. Rice straw may therefore serve as an effective and cheap organic amendment for the promotion of phytoremediation of soils contaminated with heavy metals.

d) Other Enhanced Technologies

There are many technologies available for enhancing the soil washing performance. Some of the remediation technologies such as electro-kinetic remediation and ultrasonication with feasibility of coupling with soil washing are presented here.

Electro-kinetic remediation involves introducing an electro-kinetic field (EKF) by inserting the electrodes into the contaminated soils [33]. When a low intensity of EKF is applied, the H^+ and OH^- ions are generated around the anode and cathode electrodes, respectively, based on water electrolysis. As a result, acidification caused by the elevated H^+ enhances the desorption of metals from soil surface as well as facilitates the dissolution of precipitated metals around the anode areas [24]. In the meanwhile, the elevated OH^- in the cathode area also favors the release of metal (loid)s (e.g., As) in anionic forms [13]. On the other hand, mobilization and transportation processes of trace metals are occurred through the electromigration and electroosmosis during the electro-kinetic remediation. Accompanied with soil pore water, metal ions are able to move from the anode toward the cathode through electromigration [6]. This makes it possible for the subsequent removal of soluble metals or immobilization with oxides, hydroxide and carbonates [30]. The EKF effectively improved the washing efficiency of soil metals [3]. However, optimization of electro-kinetic parameters such as electro-kinetic field, stimulation duration, electrode materials and electrode configuration need further investigation for the practical design and field application.

Ultrasonication refers to apply intense, high-frequency sound to liquids and produced a “cold boiling” phenomena during the treatment [27]. It can enhance the migration of trace metals in soil and facilitate their subsequent remediation or removal. The mechanisms are divided into four aspects which include (1) rise the temperature and offer the energy for the desorption of heavy metals; (2) increase the pressure of the soil pore fluid which speeds the volume flow rate; (3) increase the disintegration and mobilization of trace metals sorbed on soil particle surfaces; and (4) increase the hydraulic conductivity of soil by cavitation [5]. Many researchers have reported that ultrasonicationcoupled soil

washing showed better performance while the studies on the mechanisms were rare reported [5, 35].

1.3 Conclusions

Soil washing is a well-developed technology for the clean up of heavy metal (loid)s in contaminated soils. The assisted methods mentioned above are reported to be effective on increasing the washing efficiency in laboratory experiment. More research is necessary for its practical design and application before applying at field scale. The research directions are suggested in following aspects such as investigate the mechanisms of metal(loid)s distribution and translocation with coupled methods; determine the potential risks to soil properties and ground water with coupled methods; study the post-remediation for the treated area and recycling methods for the metals and; estimate the economic effectiveness of the coupled methods.

1.4 Acknowledgements

This work was financially supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2014B04814, 2015B05814, 2016B04314), Special Fund for Hydroscientific Research in the Public Interest (201301017), Jiangsu Scientific Research Innovation Program of Ordinary Higher Education Graduate (SJZZ16_0083), Postgraduate Research and Practice Innovation Program of Jiangsu Province (SJCX17_0129), and Fundamental Research Funds for the Central Universities (2017B755X14).

Compliance with Ethical Standards Conflict of interest All authors declare that they have no conflict of interest.

REFERENCES

1. Andrade MD, Prasher SO, Hendershot WH (2007) Optimizing the molarity of a EDTA washing solution for saturated-soil remediation of trace metal contaminated soils. *Environ Pollut* 147:781–790.
2. Bi R, Schlaak M, Siefert E, Lord R, Connolly H (2011) Influence of electrical fields (AC and DC) on phytoremediation of metal polluted soils with rapeseed (*Brassica napus*) and tobacco (*Nicotiana tabacum*). *Chemosphere* 83:318–326.
3. Bolan N, Kunhikrishnan A, Thangarajan R, Kumpiene J, Park J, Makino T, Kirkham MB, Scheckel K (2014) Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils—to mobilize or to immobilize? *J Hazard Mater* 266:141–166.
4. Chigbo C, Batty L (2013) Effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cr–B[a] P-co-contaminated soil. *Environ Sci Pollut Res* 20(12):8955–8963.
5. Chung HI, Kamon M (2005) Ultrasonically enhanced electrokinetic remediation for removal of Pb and phenanthrene in contaminated soils. *Eng Geol* 77:233–242.
6. Dermont G, Bergeron M, Mercier G, Lafleche MR (2008) Soil washing for metal removal: a review of physical/chemical technologies and field applications. *J Hazard Mater* 152:1–31.
7. Ebrahimi M (2014) Effect of EDTA and DTPA on phytoremediation of Pb–Zn contaminated soils by *Eucalyptus camaldulensis* Dehn and effect on treatment time. *Desert* 19(1):65–73.
8. Egli T (1988) An aerobic breakdown of chelating agents used in household deter-gents. *Microbiol Sci* 5:36–41.
9. Engelhart DP, Wagner RJV, Meling A, Wodtke AM, Schafer T (2015) Temperature programmed desorption of weakly bound adsorbates on Au(111). *Surf Sci* 650:11–16.
10. Han FX, Banin A (1997) Long-term transformations and redistribution of potentially toxic heavy metals in arid-zone soils. I: under saturated conditions. *Water Air Soil Pollut* 95:399–423.

11. Han FX, Kingery WL, Selim HM, Gerald P (2000) Accumulation of heavy metals in a long-term poultry waste-amended soil. *Soil Sci* 165:260–268
12. Han FX, Kingery WL, Selim HM, Gerard PD, Cox MS, Oldham JL (2004) Arsenic solubility and distribution in poultry waste and long-term amended soil. *Sci Total Environ* 320:51–61.
13. Hea E, Im J, Yang K, Kim Y, Nam K (2015) Changes in soil toxicity by phosphate-aided soil washing: effect of soil characteristics, chemical forms of arsenic, and cations in washing solutions. *Chemosphere* 119:1399–1405.
14. Houben D, Evrard L, Sonnet P (2013) Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Biomass Bioenerg* 57:196–204.
15. Kim C, Ong SK (1999) Recycling of lead-contaminated EDTA wastewater. *J Hazard Mater* 69:273–286.
16. Kim DH, Jeon CS, Baek K, Ko SH, Yang JS (2008) Electrokinetic remediation of fluorine-contaminated soil: conditioning of anolyte. *J Hazard Mater* 161:565–569.
17. Kirpichtchikova TA, Manceau A, Spadini L, Panfili F, Marcus MA, Jacquet T (2006) Speciation and solubility of heavy metals in contaminated soil using X-ray micro-fluorescence, EXAFS spectroscopy, chemical extraction, and thermodynamic modeling. *Geochim Cosmochim Acta* 70:2163–2190.
18. Ko I, Chang YY, Lee CH, Kim KW (2005) Assessment of pilotscale acid washing of soil contaminated with As, Zn and Ni using the BCR three-step sequential extraction. *J Hazard Mater* 127:1–13.
19. Lasat MM (2002) Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *J Environ Qual* 31(1):109–120.
20. Lee M, Paik IS, Do W, Kim I, Lee Y, Lee S (2007) Soil washing of As contaminated stream sediments in the vicinity of an abandoned mine in Korea. *Environ Geochem Heal* 29:319–329 21.
21. Lestan D, Luo CL, Li XD (2008) The use of chelating agents in the remediation of metal-contaminated soils: a review. *Environ Pollut* 153:3–13.
22. Lim TT, Tay JH, Wang JY (2004) Chelating-agent-enhanced heavy metal extraction from a contaminated acidic soil. *J Environ Eng* 130:59–66.

23. Liphadzi MS, Kirkham MB, Paulsen GM (2006) Auxin-enhanced root growth for phytoremediation of sewage-sludge amended soil. *Environ Technol* 27(6):695–704.
24. Li RS, Li LY (2000) Enhancement of electrokinetic extraction from lead-spiked soils. *J Environ Eng* 126:849–857.
25. Mao XY, Han FX, Shao XH, Guo K, McComb J, Njemanze S (2015) Electrokinetic enhanced phytoremediation for the restoration of multi-metal(lloid) contaminated soils. In: Daniels JA (ed) Advances in environmental research. Nova Science Publishers Inc., New York .
26. Mao XY, Han FX, Shao XH, Guo K, McComb J, Arslan Z, Zhang ZY (2015) Electro-kinetic remediation coupled with phytoremediation to remove lead, arsenic and cesium from contaminated paddy soil. *Ecotox Environ Safe* 125:16–24.
27. Mason TJ, Collings A, Sumel A (2004) Sonic and ultrasonic removal of chemical contaminants from soil in the laboratory and on a large scale. *Ultrason Sonochem* 11:205–210.
28. Maturi K, Reddy KR (2008) Extraction of mixed contaminants from different soil types. *Soil Sediment Contam* 17:586–608.
29. Moreno-Jime 'nez E, Clemente R, Mestrot A, Meharg AA (2012) Arsenic and selenium mobilization from organic matter treated mine spoil with and without inorganic fertilization. *Environ Pollut* 173C(1):238–244.
30. Ottosen LM, Pedersen AJ, Hansen HK, Ribeiro AB (2007) Screening the possibility for removing cadmium and other heavy metals from wastewater sludge and bio-ashes by an electrodialytic method. *Electrochim Acta* 52(10):3420–3426.
31. Peters RW (1999) Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. *J Hazard Mater* 66:151–210 32.
32. Polettini A, Pomi R, Rolle E (2007) The effect of operating variables on chelant assisted remediation of contaminated dredged sediment. *Chemosphere* 66:866–877.

33. Shen Z, Chen X, Jia J, Qu L, Wang W (2007) Comparison of electrokinetic soil remediation methods using one fixed anode and approaching anodes. *Environ Pollut* 150:193–199
34. Shen Z, Zhang J, Qu L, Dong Z, Zheng S, Wang W (2009) A modified EK method with an I/I₂ lixiviant assisted and approaching cathodes to remedy mercury contaminated field soils. *Environ Geol* 57(6):1399–1407
35. Shrestha RA, Pham TD, Sillanpaa M (2010) Electro ultrasonic remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soil. *J Appl Electrochem* 40:1407–1413 36
36. Sun B, Zhao FJ, Lombi E, McGrath SP (2001) Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environ Pollut* 113:111–120
37. Tessier A, Campbell PGC, Bisson M (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal Chem* 51:844–851
38. Wu LH, Li Z, Akahane I, Liu L, Han CL, Makino TYK, Luo YM, Christie P (2012) Effects of organic amendments on Cd, Zn and Cu bioavailability in soil with repeated phytoremediation by sedum plumbizincicola. *Int J Phytoremediat* 14(10):1024–1038.
39. Yeung AT, Gu YY (2011) A review on techniques to enhance electrochemical remediation of contaminated soils. *J Hazard Mater* 195:11–29.
40. Yeung AT, Gu YY (2012) Use of chelating agents in electrochemical remediation of contaminated soil. In: Daniel C, Tsang W, Irene M, Lo C, Surampalli RY (eds) Chelating agents for land decontamination technologies. American Society of Civil Engineers, Reston, pp 212–280.
41. Yin X, Chen JJ, Cai WM (2014) Evaluation of compounding EDTA and citric acid on remediation of heavy metals contaminated soil. *Environ Sci* 35(8):3096–3101.
42. Yu J, Yu YC, Fang L, Shu HL (2005) Effects of low molecular weight organic acids on the pH and the form of alum inum of forest soils. *J Fujian Coll For* 25(3):243–246.
43. Zhang W, Huang H, Tan F, Wang H, Qiu R (2010) Influence of EDTA washing on the species and mobility of heavy metals residual in soils. *J Hazard Mater* 173:369–376.

44. Zou Z, Qiu R, Zhang W, Dong HY, Zhao ZH, Zhang T, Wei XG, Cai XD (2009) The study of operating variables in soil washing with EDTA. *Environ Pollut* 157:229–236.



BAB II

TERJEMAHAN ARTIKEL JURNAL ILMIAH

Pengembangan Teknik Pencucian Tanah untuk Remediasi Logam Berat pada Tanah yang Terkontaminasi

Xu Yang. Xinyu Mao. Xiaohou Shao. Fengxiang Han. Tingting Chang. Hengji Qin. Minhui Li.

Abstrak

Pencucian tanah telah dikembangkan sebagai salah satu metode remediasi tradisional secara *ex situ* untuk tanah yang tercemar logam berat, metode ini dianggap efektif dalam mengekstraksi logam. Namun, karena distribusi dan spesiasi dalam tanah kebanyakan logam berat/*metalloid* ada dalam bentuk kurang bergerak dengan membatasi efisiensi pencucian. Oleh karena itu, metode ini diteliti untuk meningkatkan kinerja pencucian dengan cara meningkatkan kelarutan dan ketersediaan logam. Makalah ini memperkenalkan beberapa metode dan teknologi yang saat ini digunakan, termasuk optimalisasi variabel pencucian, menurunkan pH tanah, proses perubahan integrasi remediasi elektrokinetik dan ultrasonikasi untuk meningkatkan penghapusan logam. Selain itu, makalah ini juga memberikan beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut.

Kata kunci: Pencucian tanah, kelarutan logam, *assisted*¹ teknologi.

¹ *Assisted* adalah perangkat bantuan dalam sebuah teknologi.
(https://en.wikipedia.org/wiki/Assistive_technology)

2.1 Pendahuluan

Kontaminasi tanah oleh logam berat/*metaloид* telah menjadi masalah lingkungan yang serius dengan perkembangan industrialisasi dan urbanisasi yang cepat. Secara umum, kontaminasi yang bersumber dari aktivitas antropogenik seperti penambangan, pembuangan limbah domestik, produksi pertanian dan kegiatan industri [26]. Karena toksisitas tinggi dan karakteristik karsinogeniknya, logam berat/*metaloид* seperti Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Cs, Se, Zn dan As memiliki efek merugikan pada kesehatan manusia yang masuk melalui rantai makanan [12].

Pencucian tanah telah dikembangkan sebagai salah satu metode remediasi tradisional secara *ex situ* untuk tanah yang tercemar logam berat, yaitu proses melarutkan logam berat/*metaloид* dengan ekstraktan dan perubahan konsentrasi logam berat dalam volume kecil melalui pemisahan ukuran partikel [28]. Metode ini telah terbukti efektif pada tanah dengan permeabilitas yang lebih tinggi. Pencucian tanah yang berhasil biasanya tergantung pada konsentrasi kelarutan logam terlarut, sementara sebagian besar logam kurang reaktif karena distribusi dan spesiasinya dalam tanah [22]. Kelarutan rendah dan ketersediaan bekas logam dapat membatasi efisiensi pencucian. Optimalisasi variabel pencucian seperti dosis ekstraktan, waktu kontak dan suhu pencucian dapat secara efektif meningkatkan kemampuan remediasi [44]. Namun, beberapa proses membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mempertimbangkan aspek ekonomi. Di sisi lain, penurunan pH tanah dan penerapan perubahan struktur dapat melepaskan logam dari komponen tanah padat melalui pertukaran ion, proses disolusi dan proses penyerapan/desorpsi logam [26]. Selain itu, teknologi lainnya seperti remediasi elektrokinetik dan ultrasonikasi layak untuk dipasangkan dengan pencucian tanah selama pemantauan pada mekanisme remediasi. Metode pasca remediasi dan daur ulang memerlukan penelitian lebih lanjut untuk percobaan di lapangan [3].

2.2 Kelarutan dan Ketersediaan Logam Dalam Tanah

Telah diketahui bahwa logam berat/*metaloид* terdistribusi dalam tanah dengan berbagai bentuk kimia [10]. Pada dasarnya logam berat/*metaloид* dalam tanah dibagi menjadi fraksi labil. Yaitu fraksi yang larut dalam air dan dapat ditukar dengan komponen fase padat lainnya, seperti besi karbonat/mangan

okside, terikat secara organik dan fraksi residu [37]. Konsentrasi kelarutan dari logam berat/*metaloид* yang tidak stabil dalam tanah adalah kriteria penting untuk keberhasilan pencucian tanah [28]. Namun, proses seperti presipitasi atau ikatan kuat dengan partikel tanah membuat sebagian besar logam tanah tidak larut dan tidak tersedia [19]. Hanya fraksi yang larut dalam air dapat ditukar dengan mudah, dan diekstraksi dengan pencucian tanah [26]. Selain itu, fraksi logam/*metaloид* yang larut dalam air yang dapat ditukar dengan mengubah komponen dari fase padat lainnya dengan pergantian sifat-sifat tanah dan kondisi lingkungan [11]. Oleh karena itu, peningkatan kelarutan dan ketersediaan logam adalah masalah saat ini dalam peningkatan efisiensi pencucian tanah dari logam/*metaloид*. Berikut beberapa metode yang disarankan untuk meningkatkan efisiensi pencucian logam/*metaloид* pada tanah:

a) Optimalisasi Variabel Pencucian

Dilaporkan bahwa ekstraksi logam berat yang berhasil tergantung pada polutan alami dan variabel pencucian [44] bekas kontaminan alami termasuk spesiasi, distribusi logam/*metaloид*, dan konsentrasinya. Kelarutannya tetap untuk tanah tertentu yang terkontaminasi [22]. Dengan demikian optimalisasi variabel operasi seperti dosis ekstraktan, waktu kontak dan suhu pencucian menjadi bagian penting yang saling berkaitan untuk meningkatkan efisiensi pencucian [44].

Dosis ekstraktan termasuk konsentrasi ekstraktan dan rasio cair atau padat (L/S) yang merupakan faktor lain yang mempengaruhi efisiensi pencucian. Penghapusan bekas logam sebanding dengan dosis ekstraktan [32,36]. Mengekstraksi larutan dengan konsentrasi tertinggi dan rasio cair atau padat (L/S) menyebabkan situs *chelating*² yang cukup untuk mengikat ion logam yang kemungkinan membentuk kompleks untuk menghindari kompetisi dari ion lain (Fe) untuk mengikat bagian pada area permukaan tanah atau pereaksi kompleks [36]. Selain itu, mencegah logam labil dari reabsorpsi [43]. Namun, untuk pertimbangan ekonomis, ikatan ekstraksi sekuenzial dengan ekstraktan pekat lebih mudah diaplikasikan [1]. Di sisi lain, waktu kontak merupakan bagian penting

² *Chelating* adalah senyawa kimia yang membentuk kompleks stabil yang larut dalam air jika bereaksi dengan ion logam. (<https://www.trenchlesspedia.com/definition/4014/chelant>)

untuk pencucian tanah karena desorpsi logam/*metalloid* merupakan proses keseimbangan kinetik [44]. Dengan meningkatnya waktu mencuci, sebagian besar logam terlarut ketika diekstraksi dan ditambahkan dalam fraksi fase padat termasuk fraksi yang dapat ditukar [17]. Berdasarkan Tabel 1 bahwa tingkat penghapusan As, Cu dan Pb meningkat dengan meningkatnya waktu pencucian pada tahap awal, dan mencapai maksimum pada 30 menit, akan tetapi dengan semakin lama waktu pencucian tingkat reduksinya berkurang. Sedangkan tingkat reduksi logam Cd meningkat seiring dengan meningkatnya waktu pencucian, dan mencapai kemampuan maksimum pada saat 120 menit. Untuk As, Cu dan Pb, desorpsi lebih memenuhi kriteria ketika waktu pencucian pada 30 menit, dan seiring waktu mencuci, reabsorpsi logam berat dan partikel tanah dalam larutan dominan, sehingga laju penghapusan menurun [41].

Suhu tinggi dapat memberikan energi yang cukup untuk transformasi logam/*metalloid* yang larut dari komponen fase padat tanah [9].

Tabel 1 Pengaruh waktu pencucian pada tingkat ekstraksi logam berat (%)

Waktu pencucian logam berat (menit)	10	20	30	60	120
Cd	31,3	33,5	34,2	35,3	37,7
As	10,2	10,9	12,1	10,6	10,2
Cu	15	15,4	19,3	18,5	19,1
Pb	16,7	17,3	25,2	24,6	24,3

Tabel 2 Efek asam organik pada pH tanah

Perlakuan	CK	Asam asetat	Asam oksalat	Asam sitrat
pH	5,16	4,58	4,55	4,49

Perlakuan CK adalah menambahkan 50 ml air suling ke 20 g sampel tanah

b) Penurunan pH Tanah

Penurunan pH tanah mengacu pada perubahan dari sifat tanah. Mekanisme penurunan pH tanah bertujuan untuk meningkatkan kelarutan logam termasuk pemutusan oksida yang terikat logam, pertukaran ion dan

penyerapan/desorpsi logam [15]. Dapat dilihat pada Tabel 2 bahwa efek dari perbedaan asam organik pada pH tanah adalah berbeda, pH tanah menurun terbesar dengan perlakuan asam sitrat, mencapai 4,49, tingkat penurunan adalah 0,67, kemudian perlakuan asam oksalat, mencapai 4,55, tingkat penurunan adalah 0,61, perlakuan yang terendah yaitu pada asam asetat yang mencapai 4,58, dengan tingkat penurunan adalah 0,58 [42].

Penurunan pH tanah juga dapat membantu melepaskan bekas logam dari komponen tanah fase padat yang dipengaruhi kapasitas retensi tanah [31]. Secara umum, sebagian besar kelarutan logam meningkat dengan penurunan pH tanah [15]. Ion H^+ yang tinggi bertindak sebagai kation kompetitif, yang dapat menggantikan logam yang terserap melalui pertukaran kation. Sementara itu, ion H^+ yang bersifat positif memberi muatan-muatan pada partikel-partikel tanah dan mendorong terjadinya desorpsi logam dari permukaan tanah [31]. Asam kuat seperti HCl dan HNO₃ paling banyak digunakan untuk menurunkan tanah karena sangat efektif. Namun juga memiliki risiko merusak struktur dan fungsi tanah [2]. Asam organik seperti asam sitrat tidak seefektif asam kuat [40]. Namun demikian memiliki sifat *biodegradable* dan dapat menurunkan pH tanah sampai batas tertentu tanpa menimbulkan dampak terhadap air tanah [39]. Oleh karena itu, asam organik ramah lingkungan dan lebih sering digunakan untuk menurunkan pH tanah dan perlu diteliti lebih lanjut.

c) Assisted Amendment

*Assisted Amendment*³ yang digunakan dengan pencucian tanah untuk remediasi logam berat, yaitu memperbaiki kelarutan dan ketersediaan logam melalui adsorpsi, reaksi kompleksasi, dan presipitasi [3]. *Amendments*⁴ umumnya mencakup *chelants*⁵, bahan pengopleks dan *amendments*⁶ organik [25].

³ *Amendment* adalah material yang dapat memperbaiki sifat tanah
Assisted Amendment adalah setiap bahan yang ditambahkan ke tanah untuk memperbaiki sifat fisiknya, seperti rentensi air, permeabilitas, infiltrasi air, drainase, aerasi, dan struktur. (<https://extension.colostate.edu/topic-areas/yard-garden/choosing-a-soil-amendment/>)

⁴ *Amendment* adalah material yang dapat memperbaiki sifat tanah.

(<https://extension.colostate.edu/topic-areas/yard-garden/choosing-a-soil-amendment/>)

⁵ *Chelants* adalah senyawa kimia yang membentuk kompleks stabil yang larut dalam air jika bereaksi dengan ion logam. (<https://www.trenchlesspedia.com/definition/4014/chelant>)

⁶ *Amendments* organik adalah bahan yang berasal dari tumbuhan atau hewan yang dapat ditambahkan ke dalam tanah untuk memperbaiki sifat fisiknya, termasuk retensi air,

Asam *ethylene diamine tetra acetic* (EDTA) adalah agen pengkelat yang paling umum digunakan, yang memiliki kemampuan pengikat yang kuat untuk berbagai jenis logam berat (Fe, Cu, Pb dan Zn) di tanah [12,21]. Namun, kemampuan EDTA kurang efektif dan kurang *biodegradable* di lingkungan, yang dapat menimbulkan pencemaran sekunder dalam air tanah [8]. Selain itu, karena toksitas yang melekat pada EDTA pasca remediasi dari perlakuan dan pembuangan ekstraksi cair yang berpotensi menjadi masalah lingkungan [23]. Ebrahimi [7] menemukan *diethylene triamine penta acetate* (DTPA) memiliki potensi besar untuk meningkatkan kelarutan logam dalam tanah. Namun, DTPA juga menunjukkan efek toksik dan menyebabkan kontaminasi air tanah [7]. Saat ini, asam organik seperti asam sitrat dan asam asetat dapat mengurangi masalah pencemaran karena ramah lingkungan dan biaya yang dianggap lebih murah [21]. Untuk menunjukkan variasi konsentrasi HM (*heavy metal*), peneliti memilih 4 jenis pengolahan limbah lumpur (T1, T2, T3 dan T4); di antaranya mengandung kadar air, karbon organik, kjeldahl nitrogen dan pH ditunjukkan pada Tabel 3.

Reduksi HM (*heavy metal*), ditentukan dengan metode volumetrik $K_2Cr_2O_7$, prosedur ekstraksi yaitu menimbang sekitar 0,2 g sampel dalam labu 250 ml, ditambahkan larutan $Na_4P_2O_7$ 70 mL, kemudian dikocok dan diletakan dalam *waterbath* mendidih selama 30 menit, diangkat dan didinginkan sampai suhu kamar, ekstrak dicuci melalui corong kecil 100 mL labu *volumetric*, dan kemudian dicuci dengan botol segitiga menggunakan air beberapa kali, semua larutan dimasukan ke dalam labu *volumetric* dengan volume konstan. Ditimbang larutan 5 ml dan larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,8 m/L⁻¹ ke dalam labu 250 mL, ditambahkan asam sulfat pekat 15 ml, dan dikocok cepat, diletakan ke *waterbath* mendidih selama 30 menit, didinginkan hingga suhu kamar, kemudian tambahkan 80 mL air, ditambahkan 3 tetes indikator $C_{12}H_8N_2.H_2O$, dititrasi dengan larutan $FeSO_4.7H_2O$ sampai terjadinya perubahan larutan dari kuning menjadi merah bata sebagai titik akhir. Rumus perhitungan HM adalah sebagai berikut:

$$HM = (V_0 - V) \times c \times 3 \times 10^{-3} \times M \times 100 / (m \cdot f)$$

permeabilitas, dan struktur tanah. (<http://doecrs.com/sustainability/soil-conservation/organic-amendments/>)

Dimana: V_0 adalah penentuan volume kosong $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, V adalah volume dari $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, c adalah konsentrasi dari $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, M adalah total volume ekstrak sampel (mL)/penentuan dari volume ekstrak yang digunakan (mL), m adalah berat dari jumlah sampel kering (g), dan f adalah HM dari koefisien yang mengandung karbon.

Berdasarkan Tabel 4 bahwa perlakuan lumpur limbah yang berbeda memiliki HM yang berbeda; diantaranya T4 adalah yang memiliki konsentrasi logam terbesar dan mencapai 161,3; kemudian T2 mencapai 140,5; T3 adalah yang memiliki konsentrasi logam terendah dan mencapai 123,6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan HM meningkat tidak signifikan, dan berkaitan erat dengan kadar air, karbon organik, *kjeldahl* nitrogen dan pH limbah lumpur.

Oleh karena itu, perlakuan-perlakuan tersebut merupakan alternatif yang tepat untuk EDTA dan DTPA untuk perlakuan jangka pendek [4].

Zat pengopleks meningkatkan kelarutan logam melalui pertukaran ion [16]. Dapat berkompetisi dengan mengikat pada partikel tanah dengan target ion logam dan juga dapat menurunkan reabsorpsi dari ekstraksi jenis ionik ke mineral tanah [18].

Tabel 3 Proses pengolahan limbah lumpur yang berbeda dalam HM

Limbah lumpur	Kadar kelembaban (%)	Karbon organik (g kg ⁻¹)	Kjeldahl nitrogen (g kg ⁻¹)	pH
T1	83.41	35.32	35.75	7.52
T2	75.06	387.18	31.50	7.67
T3	66.06	206.94	24.79	7.73
T4	54.03	250.89	32.17	7.58

Tabel 4 Perubahan perlakuan logam dengan limbah lumpur yang berbeda

Perlakuan	T1	T2	T3	T4
HM	133.2	140.5	123.6	161.3

Asam asetat (CH_3COOH), siklodekstrin, dan ammonium asetat ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) sering digunakan sebagai zat pengopleks. Ion seperti I^- , Cl^- dan

OH^- dapat membentuk kompleks yang larut seperti $[\text{HgI}_4]^{2-}$, $[\text{CuCl}_4]^{2-}$, $[\text{Cr(OH)}_4]^-$ dan $[\text{Cr(OH)}_3]^{2-}$ dengan ion logam [34]. Senyawa diatas memiliki afinitas yang rendah untuk diserap pada permukaan tanah dan efektif dalam kisaran pH yang tinggi, sebagian besar sisa logam (Pb, Zn, Cs, Cr) dapat dengan mudah membentuk senyawa kompleks dengan agen pengkompleks di bawah pH rendah, sementara logam lain seperti As pencemar lingkungan alkali karena berada dalam bentuk anionik dan dapat membentuk kompleks yang stabil di bawah pH luas [20].

Perubahan organik seperti limbah lumpur dan kompos limbah hijau dapat secara langsung atau tidak langsung mengubah distribusi dan ketersediaan logam tanah. Disarankan bahwa pergerakan logam dalam tanah berterkaitan dengan jumlah bahan organik dalam tanah [14]. Beberapa penelitian menyatakan bahwa kompos ditingkatkan sebagai mobilitas karena efek kompetisi dari *Dissolved Organic Carbon* (DOC) dan komponen P yang dapat larut dalam kompos dengan adanya bagian serapan [25]. Moreno-Jimenez et.al. [29] menemukan mobilisasi tanah berfluktuasi pada As, Cu dan Se setelah penggunaan kompos limbah pabrik zaitun. Di sisi lain, dibandingkan dengan *chelating agent*⁷, bahan organik tradisional seperti jerami padi dan semanggi dinyatakan jauh lebih ramah lingkungan yang digunakan dalam metode mencuci tanah [38].

Karena jerami padi adalah bahan organik yang dapat meningkatkan kelarutan jangka pendek dari logam berat, dan jerami padi juga mengandung sejumlah besar senyawa organik yang mungkin dapat mendistribusikan kembali fraksi logam berat di tanah. Telah dilaporkan bahwa lebih dari enam ratus ton jerami diproduksi setiap tahun di China, lebih dari 50% di antaranya dibakar untuk pembukaan lahan dan pembuangan limbah dengan cepat. Oleh karena itu jerami padi dapat berfungsi sebagai bahan organik yang efektif dan murah untuk digunakan dalam fitoremediasi tanah yang terkontaminasi dengan logam berat.

d) Perkembangan Teknologi Lainnya

⁷ *chelating agent* adalah senyawa yang dapat mengikat ion logam dengan beberapa atom dalam molekul yang sama.

(<https://id.mort-sure.com/blog/difference-between-complexing-agent-and-chelating-agent/>)

Terdapat beberapa teknologi yang tersedia untuk meningkatkan kinerja pencucian tanah. Beberapa teknologi remediasi seperti remediasi elektro-kinetik dan kelayakan penggabungan ultrasonikasi dengan pencucian tanah dijelaskan di sini.

Remediasi elektrokinetik menggunakan alat elektrokinetik (EKF) dengan memasukkan elektroda ke dalam tanah yang terkontaminasi [33]. Ketika intensitas EKF yang rendah diterapkan, H^+ dan ion OH^- dihasilkan di sekitar elektroda anoda dan katoda, masing-masing berdasarkan pada elektrolisis air. Asidifikasi disebabkan oleh H^+ yang tinggi meningkatkan desorpsi logam dari permukaan tanah serta memberikan penghapusan endapan logam di sekitar area anoda [24]. Sementara itu, OH^- yang meningkat di area katoda juga mendukung pelepasan logam/*metalloid* (As) dalam bentuk anionik [13]. Di sisi lain, proses mobilisasi dan pengangkutan dari bekas logam terjadi melalui elektromigrasi dan elektroosmosis selama remediasi elektro-kinetik. Disertai dengan air pori tanah, ion logam dapat bergerak dari anoda menuju katoda melalui elektromigrasi [6]. Hal ini memungkinkan untuk penghapusan selanjutnya dari logam yang larut atau imobilisasi dengan oksida, hidroksida dan karbonat [30]. EKF secara efektif meningkatkan efisiensi pencucian logam tanah [3]. Namun, optimalisasi parameter elektrokinetik seperti bidang elektrokinetik, durasi stimulasi, bahan elektroda dan konfigurasi elektroda perlu penyelidikan lebih lanjut untuk desain praktis dan aplikasi lapangan.

Ultrasonikasi mengacu pada penggunaan yang intens, memiliki frekuensi tinggi untuk cairan dan menghasilkan fenomena “*cold boiling*” selama perlakuan [27]. Dapat meningkatkan pemindahan bekas logam di tanah dan mempermudah remediasi atau penghapusan. Mekanisme ini dibagi menjadi empat aspek yang meliputi (1) meningkatkan suhu dan menawarkan energi untuk desorpsi logam berat, (2) meningkatkan tekanan cairan pori tanah yang mempercepat laju aliran volume, (3) meningkatkan disintegrasi dan mobilisasi bekas logam yang terserap pada permukaan partikel tanah, dan (4) meningkatkan konduktivitas hidrolik tanah dengan kavitasi [5]. Banyak peneliti telah melaporkan bahwa pencucian tanah berpasangan ultrasonikasi menunjukkan kinerja yang lebih baik sementara studi tentang mekanisme jarang dilaporkan [5,35].

2.3 Kesimpulan

Pencucian tanah adalah teknologi yang dikembangkan dengan baik untuk menghilangkan logam berat/*metalloid* di dalam tanah. Metode yang disebutkan di atas adalah metoda yang efektif digunakan untuk meningkatkan efisiensi pencucian dalam percobaan laboratorium. Diperlukan lebih banyak penelitian untuk desain dan aplikasi praktisnya sebelum diterapkan pada skala lapangan. Arah penelitian selanjutnya disarankan pada kajian aspek-aspek berikut seperti: penyelidikan mekanisme distribusi dan translokasi logam berat/*metalloid* dengan metode gabungan, penentuan risiko potensial terhadap sifat-sifat tanah dan air tanah dengan metode gabungan, kajian proses pasca remediasi untuk area perlakuan dan metode daur ulang untuk logam dan, memperkirakan efektivitas ekonomi dari metode yang digabungkan.

2.4 Ucapan Terima Kasih

Karya ini secara finansial didukung oleh *Fundamental Research Funds* untuk Universitas Pusat (2014B04814, 2015B05814, 2016B04314), Dana Khusus untuk Penelitian Hidrolifik untuk Kepentingan Umum (201301017), Program Inovasi Riset Ilmiah Jiangsu dari *Graduate Education Higher Education* (SJZZZ16_0083), Program Inovasi Penelitian dan Praktek Pascasarjana Provinsi Jiangsu (SJCX17_0129), dan Dana Penelitian Fundamental untuk Universitas Pusat (2017B755X14).

BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Identitas artikel jurnal ilmiah

1) Identitas artikel ilmiah

Jurnal	Agricultural Reserch
SCImago Journal Rank (SJR)	0,29
Abstracting and Indexing	<ul style="list-style-type: none">• Agricola• Cab Abstracts• Cnki• Chemical Abstracts Service (Cas)• Dimensions• Ebsco Discovery Service• Ei Compendex• Emerging Sources Citation Index• Geobase• Google Scholar• Inis Atomindex• Institute Of Scientific And Technical Information Of China• Japanese Science And Technology Agency (Jst)• Meta• Naver• Oclc Worldcat Discovery Service• Proquest Agricultural & Environmental Science Database• Proquest Central• Proquest Natural Science Collection

	<ul style="list-style-type: none"> • Proquest Scitech Premium Collection • Proquest-Exlibris Primo • Proquest-Exlibris Summon • Scimago • Scopus • Ugc-Care List (India)
--	--

2) Identitas artikel ilmiah

Judul artikel ilmiah	Enhanced Techniques of Soil Washing for the Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils
Tahun	2018
Penerbit	Springer
Penulis	Xu Yang ¹ . Xinyu Mao ¹ . Xiaohou Shao ¹ . Fengxiang Han ² . Tingting Chang ¹ . Hengji Qin ¹ . Minhui Li ¹ .
Institusi penulis	¹ College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ² Department of Chemistry and Biochemistry, Jackson State University, 1400 J. R. Lynch Street, P.O. Box 17910, Jackson, MS 39217, USA

3.2 Kebaruan artikel

Pencemaran tanah adalah keadaan di mana bahan kimia buatan manusia masuk dan mengubah lingkungan tanah alami. Pencemaran ini biasanya terjadi karena kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri, fasilitas komersial dan, penggunaan pestisida. Logam berat/*metalloid* seperti Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Cs, Se,

Zn dan As yang memiliki efek merugikan pada kesehatan manusia yang masuk melalui rantai makanan, sehingga perlu adanya pengolahan supaya tidak berdampak bagi kesehatan (Han et.all, 2004). Salah satu metode pengolahan yang dapat dilakukan untuk mereduksi logam berat dalam tanah adalah metode pencucian tanah.

Pencucian tanah (*Soil washing*) adalah teknologi pengolahan untuk reduksi volume atau minimisasi limbah berdasarkan proses secara fisik atau kimia. Sedangkan menurut Aroa et.all, [45] pencucian tanah adalah teknologi perbaikan yang melibatkan pencampuran tanah yang terkontaminasi dengan bahan pencuci dalam bentuk cair, meresap, menghilangkan kontaminan, dan kemudian memproses tanah dalam sistem pemurnian.

Metode Pencucian tanah (*soil washing*) telah dikembangkan sebagai salah satu metode remediasi tradisional secara *ex situ* untuk tanah yang tercemar logam berat, yaitu proses melarutkan logam berat/*metalloid* dengan ekstraktan dan perubahan konsentrasi dalam volume kecil melalui pemisahan ukuran partikel [28]. Metode pencucian tanah juga telah dikembangkan di Jepang dengan menggunakan senyawa kimia ferri klorida (FeCl_3) untuk menghilangkan logam kadmium (Cd) pada tanah pertanian yang terkontaminasi akibat pertambangan sehingga menyebabkan penyakit itai-itai bagi masyarakat jepang [46]. Pengembangan metode remediasi tanah selain dengan metode pencucian tanah juga dapat dilakukan dengan metode fitoremediasi contohnya penggunaan Biochar.

Biochar adalah bahan padat kaya karbon hasil konversi dari limbah organik (biomassa pertanian) melalui pembakaran tidak sempurna atau suplai oksigen terbatas (*pyrolysis*). Memperbaiki tanah dengan biochar semakin menarik perhatian luas karena dua alasan. Pertama, karena kestabilan kimianya, kedua dapat secara cepat meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman dengan cara memasok dan mempertahankan unsur hara sekaligus memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah [14].

3.3 Kelebihan artikel

Berikut beberapa kelebihan pada artikel ini:

- 1) Metode pada artikel ini telah terbukti efektif pada pengolahan tanah dengan permeabilitas yang lebih tinggi. Pencucian tanah yang berhasil biasanya tergantung pada konsentrasi kelarutan logam terlarut, sementara sebagian besar logam kurang reaktif karena distribusi dan spesiasinya dalam tanah [22].
- 2) Metode pencucian tanah selain efektif juga murah dalam segi biaya dan proses pengamplikasian yang cepat.
- 3) Metode yang digunakan pada artikel ini merupakan metode terbaru dalam mereduksi logam berat pada tanah tercemar seperti penggunaan elektrokinetik dan ultrasonikasi.
- 4) Penggunaan metode elektrokinetik dan ultrasonikasi adalah metode elektrokinetik diterapkan untuk menghilangkan logam berat, sedangkan metode ultrasonikasi diterapkan untuk mengilangkan sebagian besar bahan organik di tanah yang terkontaminasi.
- 5) Beberapa studi laboratorium dan lapangan tentang kelayakan proses elektrokinetik menunjukkan bahwa logam berat dan spesies kationik lainnya dapat dikeluarkan dari tanah yang terkontaminasi. Kelayakan dan efektivitas biaya elektrokinetik untuk logam berat seperti timbal, tembaga, seng dan kadmium dari tanah telah dibuktikan oleh banyak peneliti (Mitchell, 1986; Runnles dan Larson, 1986; Pamukcu et.al, 1990; Han, 2000; Reddy dan Saichek, 2002).

3.4 Kekurangan artikel

Berikut beberapa kekurangan pada artikel ini:

- 1) Pada jurnal ini belum menjelaskan terkait dengan lokasi dan metode pengambilan sampel yang digunakan.
- 2) Metode pencucian tanah pada artikel ini kurang ramah lingkungan karena menggunakan senyawa kimia yang dapat berdampak pada tanah dan air, seperti penggunaan Asam *ethylene diamine tetraacetic* (EDTA). Kemampuan EDTA kurang efektif dan kurang *biodegradable* di lingkungan, sehingga dapat menimbulkan pencemaran sekunder dalam air tanah [8]. Karena toksisitas yang melekat pada EDTA pasca remediasi berpotensi menjadi masalah lingkungan [23].

- 3) Artikel ini tidak mengukur sifat fisik seperti struktur tanah, porositas tanah, bobot isi tanah. Sifat kimia tanah seperti C, N, P, K dan sifat biologi tanah seperti kandungan bakteri.
- 4) Hasil dari penghapusan logam dengan menggunakan *ethylene diamine tetra acetic* (EDTA) menunjukkan bahwa EDTA tidak dapat menghapus semua jenis logam
- 5) Artikel ini tidak membahas semua jenis logam akan tetapi hanya sebagian logam seperti Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Cs, Se, Zn, dan As.

3.5 Dampak Artikel

Dampak dari artikel ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menjadi referensi dalam metode pencucian tanah pada penelitian selanjutnya, dan memberikan manfaat praktis di bidang pengolahan lingkungan yang tercemar.
2. Sebagai upaya pengembangan metode dalam mendegradasi tanah yang tercemar logam berat seperti Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Cs, Se, Zn, As dan logam lainnya, dengan metode pencucian tanah (*soil washing*).
3. Metode ini dapat menjadi alternatif dalam pengolahan lahan tercemar di Indonesia seperti pencemaran pada lahan pertambangan.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan artikel ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Artikel ini menggunakan beberapa metode dan teknologi pencucian tanah diantaranya optimalisasi variabel pencucian, penurunan pH tanah, penggunaan metode remediasi elektrokinetik dan ultasonikasi untuk meningkatkan penghapusan logam dalam tanah.
2. Metode pencucian tanah yang digunakan efektif, murah, dan cepat, kemungkinan dapat berdampak terhadap lingkungan karena penggunaan zat kimia.

2. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas disarankan agar menerapkan metode pencucian tanah yang lebih ramah lingkungan seperti metode bioremediasi atau fitoremediasi seperti penggunaan pupuk organik, penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan pencemaran logam berat pada tanah.

DAFTAR PUSTAKA

45. Arao T, Ishikawa S, Murakami M, Abe K, Maejima Y, Makino T (2010). Heavy metal contamination of agricultural soil and countermeasures in Japan. *Paddy Water Environ* 8: 247–257.
46. Makino T, Maejima Y, Akahane I, Kamiya T, Takano H, Shinichi SF, Ibaraki T, Kunhikrishnan A, Bolan N. (2016). A practical soil washing method for use in a Cd-contaminated paddy field, with simple on-site wastewater treatment. *Geoderma* 1-7.

