

## **Pengolahan Lindi TPA Menggunakan Beberapa Metoda dan Prospekya Sebagai Pupuk Cair: Suatu Review**

**Hasnelly<sup>1</sup>, Syafrimen Yasin<sup>2</sup>, Agustian<sup>2</sup>, Darmawan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Ilmu-Ilmu Pertanian 2016 Pascasarjana Universitas Andalas Padang  
Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Padang  
email: [hasnellynel@yahoo.co.id](mailto:hasnellynel@yahoo.co.id)

### **Abstrak**

Tujuan tulisan ini adalah pertama, untuk mengetahui hasil penelitian sebelumnya tentang lindi, biochar dan mikroorganisme terhadap pemanfaatan lindi TPA. Kedua mengetahui metoda penelitian yang digunakan pada pengolahan lindi terhadap penurunan bahan berbahaya pada lindi dan pemanfaatan lindi sebagai sumber pupuk cair bagi tanaman. Metoda penelitian yang digunakan peneliti sebelumnya pada umumnya bertujuan untuk menurunkan kandungan bahan/zat yang berbahaya yang terkandung di dalam lindi TPA sehingga lindi TPA tersebut jika dibuang ke lingkungan tidak mencemari tanah, air dan lingkungan keseluruhan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan berbagai metoda yang diterapkan dapat memperbaiki kandungan lindi TPA yaitu menurunkan kadar COD, BOD, kandungan logam berat, nitrat, sulfat, pH dan bahan lainnya sehingga aman dibuang ke lingkungan serta lindi TPA dapat digunakan sebagai sumber nutrisi bagi pertumbuhan tanaman. Namun dari penelitian tersebut belum ditemukan peranan biochar dan mikroorganisme pada lindi TPA sebagai bahan untuk pembuatan pupuk cair bagi tanaman.

**Kata kunci: lindi TPA, biochar, mikroorganisme, pupuk cair**

---

## **Processing Of Landfill Leachate Using Several Methods And Prospects As A Liquid Fertilizer : A Review**

**Hasnelly**

Student of Agricultural Sciences 2016 Graduate University of Andalas Padang  
Email: [hasnellynel@yahoo.co.id](mailto:hasnellynel@yahoo.co.id)

### **Abstract**

The purpose of this paper is first, to know the results of previous research on leachate, biochar and microorganisms against the utilization of landfill leachate. Secondly know the research method used in leachate treatment on the decrease of hazardous substances on leachate and utilization of leachate as a source of liquid fertilizer for plants. The research method used by previous researchers generally aimed to reduce the content of harmful substances contained in the landfill leachate so that the landfill leachate if disposed into the environment does not pollute the soil, water and the overall environment. The results of this study indicate that the use of various methods applied to improve the content of landfill leachate is to reduce the levels of

COD, BOD, heavy metal content, nitrate, sulfate, pH and other materials that are safe to dispose into the environment and landfill leachate can be used as a source of nutrients for plant growth. However, the research has not found the role of biochar and microorganisms in landfill leachate as material for making liquid fertilizer for plants.

**Keywords : landfill leachate, biochar, microorganisms, liquid fertilizers**

## **Pendahuluan**

Lindi merupakan suatu permasalahan tersendiri dari proses penumpukan sampah di TPA. Lindi yang tidak terkelola di TPA akan berdampak terhadap pencemaran lingkungan. Pencemaran terhadap air bawah tanah, air permukaan dan bioakumulasi dalam organisme air kemudian masuk dalam rantai makanan pada akhirnya berdampak buruk pada kesehatan manusia. Hal ini disebabkan sampah yang dibuang di TPA akan mengalami beberapa perubahan fisik, kimia dan biologis secara simultan yang diantaranya menghasilkan cairan yang disebut lindi (leachate). Lindi (leachate) adalah cairan yang dihasilkan oleh perkolasi air hujan dan kelembaban melalui lapisan limbah di tempat pembuangan sampah (Koshy *et al.*, 2007).

Menurut Kjeldsen *et al.*, (2002) dan Zhang *et al.*, (2013) senyawa terlarut dalam lindi TPA terdiri dari: (1). Bahan organik terlarut (asam lemak volatile, seperti senyawa fulvic dan humat, terakumulasi selama fase Acidogenic), (2). Makro komponen anorganik ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , dan  $\text{HCO}_3^-$ ), (3). logam berat ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , dan  $\text{Zn}^{2+}$ ), dan (4). senyawa organik xenobiotik (hidrokarbon aromatik, fenol, diklorinasi alifatik, pestisida, dan plasticizer). Lindi mengandung bahan organik, anorganik, mikroorganisme serta kandungan logam berat yang cukup tinggi, pada umumnya lindi mengandung Fe: 04-220 mg/l dan Cr : 0.03 – 1.6 mg/l (Ali, 2011). Kandungan Chromium yang tinggi pada tanaman dapat bersifat toksisitas karena dapat menghambat aktivitas enzim, mutagenesis, pertumbuhan akar dan mengganggu penyerapan beberapa unsur seperti K, Mg, P, F, S, Mn,

Mo, N, Ca, B dan Cu (Zupancic *et al.*, 2009). Disamping itu pemberian lindi yang memiliki konsentrasi NaCl dan  $\text{NH}_4$  yang tinggi dan apabila diberikan langsung pada tanaman dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman.

Penurunan kadar logam berat, kandungan NaCl dan  $\text{NH}_4$  pada lindi adalah bagian yang penting untuk memenuhi standar baku mutu untuk lindi sebagai sumber pupuk. Aplikasi pencampuran biochar ke lindi merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kualitas lindi. Biochar adalah hasil dari proses pirolisis biomassa. Pirolisis ini dilakukan dengan memaparkan biomassa pada temperatur tinggi tanpa oksigen. Proses ini menghasilkan dua jenis bahan bakar (sygas atau gas sintetis dan bio-oil minyak nabati dan arang (yang kemudian disebut Biochar) sebagai produk sampingan (Lius, 2012). Hasil penelitian Cao *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2011.; Uchimiya *et al.*, (2010) menyatakan bahwa biochar mampu berperan sebagai imobilisasi logam karena kemampuannya meningkatkan pH tanah, pertukaran ion, serapan fisik dan curah hujan sebagai oxi-hidroksida dengan karbon atau fosfat. Selain itu biochar mempunyai kemampuan secara kimia menghilangkan keaktifan logam berat dan juga dapat mensuplay sejumlah unsur hara, dan mengurangi mobilitas logam berat di tanah tercemar sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman karena tidak tersedia bagi tanaman (Hidayat. 2015). Menurut hasil penelitian Tian *et al.* (2016) menunjukkan bahwa adanya korelasi positif yang signifikan antara penyerapan  $\text{NH}_4$ , CEC Biochar dan kompetensi ion selama perlakuan pemberian biochar, dimana pertukaran kation didominasi oleh serapan  $\text{NH}_4^+$ . Kemudian pemberian biochar

dapat menurunkan kelarutan Cd dan Cu dan meningkatkan fraksi yang direduksi dan teroksidasi, serta meningkatkan aktivitas biologis (biomassa mikroba, aktivitas tanah).

Pemanfaatan dan pengayaan mikroorganisme pada pengolahan lindi adalah salah satu cara yang dilakukan dalam pengolahan lindi secara biologi yang bertujuan untuk menguraikan materi-materi organik yang terkandung dalam lindi. (Direktorat pengembangan PLP, 2013). Menurut hasil penelitian Sang *et al*, (2012) banyak ditemukan di LBRs anaerobik bakteri– bakteri anaerobik dan aerobik yang bekerja didalam menguraikan materi-materi organik di dalam lindi. Kemudian ditambahkan oleh Boonnorat *et al*, (2016) bahwa bakteri heterotrofik dan bakteri nitrifikasi heterotrofik bertanggung jawab pada produksi fenol hidrosilase, esterase, phthalate dioksigenase, lakase, dan ammonia monooksigenase, sementara bakteri oksidasi amoniak membantu dalam biodegradasi mikro–polutan dengan memproduksi ammonia monooksigenase dan meningkatkan pertumbuhan bakteri heterotrofik dalam sistem.

Tujuan tulisan ini adalah pertama, untuk mengetahui sejauh mana hasil penelitian terdahulu tentang lindi TPA, biochar dan mikroorganisme terhadap pemanfaatan lindi TPA.

Kedua mengetahui metoda penelitian yang digunakan pada pengolahan lindi terhadap penurunan bahan berbahaya pada lindi dan pemanfaatan lindi sebagai sumber pupuk cair bagi tanaman.

### **1. Metoda**

Metoda yang dilakukan pada penelitian terdahulu untuk lindi TPA diantaranya terdiri dari metoda nitrifikasi pada lindi kotoran ternak (Cáceres *et al*, 2015); penggunaan inokulasi mikroorganisme pada lindi dengan waktu penyimpanan yang berbeda (Zhou *et al*, 2010); penggunaan metoda bioreaktor untuk mengetahui komunitas, fungsi dan interaksi mikrobial dalam proses biologi lindi TPA

(Zhang *et al*, 2016); metoda membrane bioreactor untuk menurunkan kandungan organik dan logam dalam lindi (Zolfaghari *et al*, 2016); proses oksidasi lanjut terhadap karakteristik lindi (kandungan asam humat, usia TPA dan tingkat stabilisasi lindi) (Oulego *et al*, 2016); kombinasi proses ultrafiltrasi dan evaporasi terhadap faksinasi bahan organik terlarut pada lindi TPA matang (Xu *et al*, 2006).

Pada penggunaan biochar yang diaktifkan berasal dari proses pemanasan uap dengan suhu tinggi untuk menyerap unsur  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , dan  $As^{5+}$  (Banerjee *et al*, 2016); penggunaan biochar yang dikombinasikan dengan bakteri *Bradyrhizobium japonicum* pada tanah yang tercemar logam berat (Seneviratne *et al*, 2016); penggunaan biochar untuk meremediasi tanah tambang yang tercemar logam berat (Puga *et al*, 2016); penggunaan biochar terhadap pelepasan karbon tanah (Jiang *et al*, 2016); penggunaan biochar sebagai media kultur komunitas bakteri di kompos (Sun *et al*, 2016); penggunaan biochar untuk mengevaluasi efeknya pada komposisi zat humat pada kompos (Jindo *et al*, 2016); penggunaan biochar pada pengomposan kotoran ayam terhadap perilaku gen resistensi antibiotik (ARG) dan total dan bioavailable logam berat (Cu, Zn dan As) (Cui *et al*, 2016); penggunaan biochar untuk meningkatkan proses pengomposan dan kualitas kompos (Vandecasteele *et al*, 2016).

## **Hasil dan Pembahasan**

### **Lindi/leachate**

Hasil dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa lindi mempunyai sifat-sifat tertentu yang harus diperhatikan sehingga lindi dapat dikelola dengan baik. Budi *et al* (2016) mengemukakan bahwa lindi yang mengandung racun dasar di alam, tidak stabil di bawah pH asam, kemungkinan asam organik, beberapa oksidan serta senyawa organik nonpolar dan penurunan kecil toksisitas terjadi ketika lindi diperlakukan

dengan natrium tiosulfat pada uji reduksi oksidan yang menunjukkan adanya oksidasi. Bhalla *et al*, (2012) menyampaikan bahwa umur TPA akan mempengaruhi karakteristik lindi TPA. Semakin tua umur TPA semakin

rendah kandungan logam, nitrat, sulfat, BOD, COD dibandingkan dengan TPA yang berumur muda sedangkan pH lindi semakin meningkat dengan meningkatnya umur TPA.

Tabel 1. Characteristics of leachate at different ages of landfill

Parameter	muda	Sedang	Tua
Umur	< 5	<b>5-10</b>	<b>&gt;10</b>
COD (Mg/l)	6.5	<b>6.5-7.5</b>	<b>&gt;7.5</b>
BOD / COD	> 0.3	<b>4,000-10,000</b>	<b>&lt;4000</b>
Komposisi Organik	80% Volatile fat acid	0.1-0.3	<0.1
Heavy metals	Low- medium	5 -30% VFA+ humic and fulvic acids	Humic and fulvic Acids
Biodegradability	important	Low	Low

Sumber: Bhalla *et al* (2012)

Menurut Chen *et al* (2016) lindi TPA matang dianggap sebagai salah satu jenis khas air limbah dengan amonium tinggi dan konsentrasi bahan organik (didominasi oleh

senyawa non-biodegradable). Hal ini dapat terlihat dari hasil penelitian Boonnorat *et al* (2016) bahwa pada C/N= 10 nilai NH<sub>3</sub>-N 360 mg/l sedangkan pada C/N = 6 NH<sub>3</sub>-N 640 mg/l sebagai mana terdapat pada tabel berikut:

Table 2. Characteristics of the leachate of this study.

Parameter	unit	Influent leachate concentrationc	
		Pre-adjustment	
pH	mg/l	7	
BOD	mg/l	6.060	
COD	mg/l	14.200	
TOC	mg/l	4620	
TKN	mg/l	1.0630	
NH <sub>3</sub> -N	mg/l	360 C/N 10	540 C/N 6
TN	mg/l	1500 C/N 10	2200 C/N6

Sumber :Boonnorat *et al* (2016)

Sedangkan hasil penelitian Huang *et al* (2015) menyimpulkan bahwa pH mempunyai peranan dalam pelepasan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Nilai pH 6-7 merupakan pH optimum untuk pelepasan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dengan metoda struvite. Menurut Dolar *et al* (2016), pH optimal untuk menghilangkan ammonia adalah 5 - 7 di bawah kondisi ini ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> akan mendominasi. Kemudian ditambahkan oleh Boonnorat *et al* (2016)

bahwa kadar C/N 6 lebih menguntungkan untuk pertumbuhan mikroorganisme dalam lindi.

Selanjutnya Mavakala *et al* (2016) mengemukakan bahwa nilai suhu, pH dan konduktivitas listrik pada lindi dipengaruhi oleh musim. Pada musim kemarau suhu cairan lindi 25,2 - 29,6 °C; pH : 7,8 - 8,7; dan kandungan oksigen 0,20 - 0.36 mgL<sup>-1</sup>

sementara pada musim hujan suhu 12,6 - 19,1 °C ; pH : 6,7-12,3 dan kandungan oksigen 0,25-0,61 mg L<sup>-1</sup> . Nilai konduktivitas listrik berkisar 19,8-27,4 mS / cm selama musim kering dan 0,14-7,70 mS / cm selama musim hujan. Sementara Kandungan ion terlarut

dalam lindi bervariasi sesuai dengan musim. Konsentrasi Na<sup>+</sup> , K<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> pada musim kemarau berkisar 3440-4740, 7140-7880, 140-400, dan 460-680 mg L<sup>-1</sup>. Pada musim hujan nilai-nilainya adalah 2980-6420, 1124-8320, 142-460, dan 2700-3724 mg L<sup>-1</sup>.

Table 3. Average values of physicochemical parameters and dissolved ions of leachates from Mpsa landfill according to the seasons. Errors are presented as ± SD.

Parameter	B0	B1	B2	B3
Dry season (May–August 2014)				
pH	29.6 ± 0.2	29.5 ± 0.3	26.8 ± 1.14	25.2 ± 0.1
EC (mS/cm)	7.8 ± 0.1	7.9 ± 0.1	8.7 ± 0.1	8.7 ± 0.1
O <sub>2</sub> (mg/L)	27.4 ± 0.9	26.6 ± 1.1	20.9 ± 0.8	19.8 ± 0.7
Na <sup>+</sup> (mg/L)	0.36 ± 0.01	0.20 ± 0.10	0.22 ± 0.10	0.23 ± 0.10
K <sup>+</sup> (mg/L)	4600 ± 116	4740 ± 128	4640 ± 125	3440 ± 120
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	7140 ± 193	7700 ± 208	7880 ± 213	7680 ± 207
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	n/a	n/a	n/a	n/a
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	n/a	300 ± 8	220 ± 6	n/a
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	140±6	160±7	400±17	200 ± 8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	80 ± 3	n/a	260 ± 11	n/a
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	680 ± 27	640 ± 27	460 ± 19	500±21
DOC (mg/L)	5640 ± 237	5940 ± 249	5860 ± 246	5720 ± 240
TOC (mg/L)	12,395 ± 1066	11,286 ± 971	9365 ± 805	6981 ± 600
	19,476 ± 1675	18,469 ± 1588	15,869 ± 1365	11,759 ±
Rainy season (January–April 2015)				
pH	19.1 ± 0.7	14.9 ± 0.1	18.8 ± 0.8	12.6 ± 1.6
EC (mS/cm)	12.3 ± 0.0	7.9 ± 0.0	9.8 ± 0.1	6.7 ± 0.0
O <sub>2</sub> (mg/L)	7.7 ± 0.1	6.9 ± 0.7	6.1 ± 0.1	0.14 ± 0.00
Na <sup>+</sup> (mg/L)	0.61 ± 0.01	0.45 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.25 ± 0.03
K <sup>+</sup> (mg/L)	6420 ± 173	5940 ± 160	3260 ± 88	2980 ± 80
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	8320 ± 225	1368 ± 370	1286 ± 347	1124 ± 303
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	10,320 ± 279	2800 ± 76	360 ± 10	180±5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	820 ± 22	680±18	540 ± 15	360 ± 10
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	440 ± 18	460 ± 19	320 ± 13	142±6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	380 ± 16	240 ± 10	188±8	168±7
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	3724 ± 156	3260 ± 137	3140 ± 132	2700 ± 113
DOC (mg/L)	6440 ± 270	6260 ± 263	5480 ± 230	4560 ± 192
TOC (mg/L)	13,797 ± 1187	11,937 ± 1027	12,748 ± 1096	7843 ± 674
	24,676 ± 2122	21,816 ± 1876	18,389 ± 1581	12,189 ±

Sumber: Mavakala *et al* (2016)

Beberapa hasil penelitian terdahulu tentang pengolahan lindi menunjukkan bahwa perlakuan pada lindi dapat memperbaiki kondisi lindi sehingga aman dibuang ke lingkungan. Beberapa metoda yang telah dilakukan pada lindi seperti; Penggunaan metoda Batch dapat menurunkan konsentrasi bahan pencemar (logam berat seperti Kromium/Cr dan Timbal/Pb) yang terkandung dalam limbah cairan lindi, melalui pertukaran ion dan adsorpsi (Susanawati *et al*, 2011). Dolar *et al* (2016) melakukan penelitian dengan proses koagulasi dapat menurunkan pH cairan menjadi 5.96, menurunkan COD dengan TOC masing-masing 65.7% dan 86.6%. Demikian juga hasil penelitian Chemlal *et al* (2014) menggunakan metoda

photocatalysis heterogen dapat menurunkan COD, pH, dan ratio BOD/COD. Selanjutnya Zolfaghari *et al* (2016) mengungkapkan bahwa metoda penggunaan Membran bioreactor (BRMt) mengakibatkan nitrifikasi tinggi, penghilangan BOD dan fosfor pada lindi. Penggunaan kombinasi membrane elektrolisis pertukaran kation dan kristalisasi magnesium kalium pospat dapat secara efektif menghilangkan 82%, 99%, 34%, 99% masing-masing bahan organik, amonia-nitrogen, nitrogen total, dan ion klorida (Li *et al*, 2015). Hadiwidodo *et al* (2012) mengemukakan bahwa proses biofilter anaerob terbukti lebih efektif dalam mengolah air lindi. Pinem *et al* (2014) menyimpulkan bahwa proses ultrafiltrasi menghilangkan 71,43% BOD, 70,57% COD,

dan 45,45% zat padat tersuspensi (TSS) dalam lindi TPA pada tekanan 2 bar. Iaconi *et al* (2006) melaporkan bahwa perlakuan biologis dengan sistem SBBGR cocok untuk menghilangkan sekitar 80 % dari kandungan COD lindi.

### **Lindi Sumber Pupuk Cair**

Penggunaan lindi tanpa diperlakukan terlebih dahulu menyebabkan kandungan racun yang terdapat pada lindi akan mempengaruhi organisme uji hewan (ikan air tawar / *Rasbora sumatrana* dan udang air tawar / *Macrobrachium lanchesteri*). Perlakuan terhadap lindi dapat menurunkan kadar racun pada lindi. Hasil penelitian menunjukkan kandungan racun pada lindi kondisi asam atau pH 3 lebih tinggi dibandingkan pada pH 11 dengan persentase penurunan racun adalah 62.04% pH 3 dan 24.07% pH 11. Hal ini disebabkan pada pH asam lindi banyak mengandung asam organik dan beberapa oksidan serta senyawa organik nonpolar. Penurunan racun pada lindi dapat dilakukan dengan penyesuaian pH, filter, aerasi, ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) dan reduksi oksidan (Budi *et al*, 2016). Komposisi kimia lindi dapat menyebabkan kerusakan tanaman terutama karena konsentrasi NaCl dan NH<sub>4</sub> tinggi. Hasil penelitian menunjukkan pemberian lindi tanpa perlakuan mengakibatkan berkurangnya tingkat pertumbuhan relative dan tidak ada perbedaan yang jelas antara konsentrasi yang berbeda (Dimitriou *et al*, 2006).

Morozeck *et al* (2016) menyimpulkan tingginya kadar bahan organik yang ditemukan dalam lindi setelah perlakuan elektrokoagulasi merupakan ciri dari lumpur lindi TPA sebagai potensi pupuk dalam aplikasi tanaman pertanian. Sedangkan Tamrat *et al* (2012) menyampaikan bahwa lindi dengan kandungan organik awal 42.310 mg O<sub>2</sub>/L COD, nitrogen total 3320 mg/L dan potassium 4376 mg/L. Setelah perlakuan biologis, kandungan organik berkurang

menjadi 18.950 mg O<sub>2</sub>/L COD dan cairan yang diperoleh tidak memiliki bau. Kandungan nitrogen berkurang menjadi 2319 mg/L total nitrogen (TN), menjadi 829 mg/L amonia dan 330 mg/L nitrat. Cairan ini dapat digunakan sebagai pupuk dalam pertanian. Perlakuan biodegradasi cara aerobik dan anaerobik, menunjukkan aerobik (64 %) menjadi lebih efektif daripada anaerobik (40 %) terhadap penurunan COD.

Hasil penelitian Anam *et al*, (2013) dengan menggunakan bambu air (*Equisetum hyemale*) dan media tanam zeolit dapat menurunkan kadar logam Pb hingga 82,2% pada lindi dengan perlakuan 60 tanaman dengan sistem batch sedangkan kadar Cr menurun sebesar 61,2% dengan perlakuan 60 tanaman dengan sistem kontinyu. Selanjutnya penelitian Larasati *et al* (2015) menunjukkan bahwa penggunaan media zeolit efektif menurunkan logam Fe sebesar 62.728% dan untuk logam Cr sebesar 42.028% yang terkandung dalam lindi. Sebelumnya penelitian Nurhasanah *et al*. (2010) menemukan bahwa penggunaan pupuk cair berbahan dasar lindi dengan perlakuan kapur (CaO, Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> dan Dolomit) tidak menyebabkan kadar logam berat Pb, Cd dan Cr dalam buah cabai melebihi ambang batas yang dapat ditoleransikan.

### **Biochar**

Hasil penelitian biochar menunjukkan bahwa suhu dalam proses pembuatan biochar mempengaruhi pada biochar yang dihasilkan, pada suhu HTT (High Treatment Temperature) rendah akan menyebabkan KTK permukaan biochar lebih tinggi sedangkan pada HTT tinggi, ikatan kimia berkurang karena berkurangnya KTK (Buss *et al*, 2016., Song *et al*, 2014., Shamin Gul and Whalen, 2016., Chen *et al*, 2016., Anyika *et al*, 2016., Hagner *et al*, 2016., Sun *et al*, 2016). Selanjutnya Puga *et al* (2016) mengemukakan bahwa mekanisme kerja dari biochar terhadap immobilisasi logam berat adalah

meningkatkan pH, pertukaran kation. Tinggi rendahnya pH menentukan immobilitas logam (Pb, Cd, Zn) meningkat dan pada pH tinggi unsur logam kurang mobil atau terikat. Dan perlakuan biochar dapat mengurangi konsentrasi logam berat seperti Cd (57 – 73%), Pb (45 – 55%) dan Zn (46%). Liang *et al.*, (2006); Lehmann, (2007) mengemukakan bahwa biochar memiliki karakteristik stabilitas yang lebih tinggi terhadap dekomposisi dan mampu menyerap ion dengan baik dibandingkan bahan organik lainnya, karena luas permukaan yang lebih besar, permukaan negatif, dan kerapatan. Luo and Ji-Dong Gu (2016) menyimpulkan bahwa konsentrasi fenolat larut menurun dengan meningkatnya kandungan biochar dalam sedimen. Kandungan karbon organik tanah (SOC) meningkat dengan penambahan biochar, dan hampir tidak ada perubahan dari total N dan total P yang diamati. Thines *et al* (2017) mengemukakan bahwa biochar magnetik yang dihasilkan dari berbagai jenis limbah pertanian memperlihatkan kapasitas adsorpsi tinggi terhadap kontaminan seperti timah, kromium, tembaga, tetrasiklin, metilen biru dan kristal violet dengan kapasitas nilai adsorpsi maksimal masing-masing 142,7; 169,5; 65,1; 95,86; 259,25 dan 349,40  $m^2/g$ . Quilliam *et al* (2013) menyatakan bahwa biochar dapat merangsang pertumbuhan dan aktivitas mikroba. Selanjutnya Cui *et al* (2016) mengemukakan bahwa biochar merupakan habitat yang cocok untuk mikroba proliferasi dan memberikan efek positif pada sifat substrat seperti porositas, permukaan yang luas dapat meningkatkan aktivitas mikroba dan menyebabkan peningkatan suhu. Shamin Gul and Whalen (2016) menyampaikan bahwa biochar dapat merubah reaksi mikroba yang dimediasi pada siklus N dan P tanah yaitu fiksasi  $N_2$ , mineralisasi N dan P, nitrifikasi, volatilisasi ammonia dan denitrifikasi. Serta, biochar memberikan permukaan reaktif dimana ion N dan P dipertahankan dalam biomassa mikroba tanah dan tempat

pertukaran, yang mana memodulasi ketersediaan N dan P tanaman. Ahmad *et al* (2016) menyampaikan bahwa jumlah bakteri gram-positif dan negatif, jamur, actinomycetes, dan jamur mikoriza arbuskular meningkat di tanah yang diperlakukan dengan biochar yang diproduksi pada suhu 300 °C. Modin *et al* (2011) menyimpulkan bahwa karbon aktif menghilangkan lebih dari 90% dari Co, Cr, Cu, Fe, Mn dan Ni. Tapi kurang efisien untuk menghilangkan Ca, Pb, Sr dan Zn. Karbon aktif merupakan bahan yang paling aktif dalam menghilangkan logam dibandingkan tepung tulang dan besi halus.

Hasil penelitian Lin *et al* (2017) mengungkapkan bahwa penggunaan biochar murni yang dimodifikasi dengan Fe dan Mn dapat digunakan sebagai adsorben murah dan sangat efisien untuk penghilangan Arsenik (As) dari lingkungan air. Selanjutnya Bordoloi *et al* (2017) menunjukkan bahwa biochar yang berasal dari mikroalga *Scenedesmus dimorphus* adalah adsorben efektif untuk menghilangkan Co (II) dari larutan berair. Wang and Liu (2017) menyampaikan bahwa biochar dapat digunakan sebagai adsorben logam berat dengan biaya rendah.

### **Mikroorganisme**

Hasil penelitian Zhang *et al* (2016) mengemukakan bahwa mikroba bekerja sama untuk menghilangkan nitrogen, menguraikan bahan organik, menghilangkan toksisitas XOCs (xenobiotic organic chemicals) dan menghasilkan energi pada lindi TPA. Selanjutnya Sun *et al* (2016) menyimpulkan bahwa penambahan biochar dapat meningkatkan populasi mikro organisme dan aktivitas mikroorganisme yang dicirikan dari peningkatan suhu media. Sedangkan penambahan inokulum mikroba dan perpanjangan waktu penyimpanan dapat menurunkan konsentrasi COD, penyesuaian nilai pH dan mempertahankan kandungan nutrisi yang relatif tinggi pada lindi (Zhou *et al* (2010). Seneviratne *et al* (2016)

menyampaikan bahwa kombinasi bakteri dan biochar telah menunjukkan penurunan lebih lanjut dari logam bioavailabilitas.

Beberapa genera bakteri dilaporkan memiliki resistensi terhadap logam timbal diantaranya genus *Azotobacter* (Rasulov *et al*, 2013), *Pseudomonas* (Wulandari *et al*, 2005), *Listeria* (Prasetya *et al*, 2012), *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus* (Arrizal *et al*, (2013).

Penelitian Pavel *et al.*, (2012) mengemukakan bahwa *Azotobacter* resisten terhadap logam berat kromium hingga konsentrasi 300 mg/L. Erni dan Hindersah (2011) melaporkan bahwa *Azotobacter* memiliki komponen polimer ekstraseluler yaitu eksopolisakarida (EPS) yang memiliki sifat mengikat polutan logam. Sebelumnya hasil penelitian Emtiazi *et al* (2004) melaporkan bahwa *Azotobacter* mampu menghasilkan EPS pada kultur dengan logam berat Fe, Zn, dan Cr. Wu *et al*, (2004) menunjukkan bahwa *Azotobacter* memiliki tingkat ketahanan dan pengikatan logam Pb dan Cd yang lebih besar dibanding bakteri *Bacillus megaterium*.

Penggunaan bakteri sebagai agen *bioremoval* logam berat merupakan alternatif yang dapat diunggulkan karena mempunyai beberapa keuntungan, seperti biaya yang rendah, efisiensi yang tinggi, biosorbennya dapat diregenerasi, dan sludge yang dihasilkan relatif sedikit (Satya dan Larashati, 2012).

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan peneliti sebelumnya dapat disimpulkan:

- a. Kandungan bahan/zat yang tinggi dan berbahaya bagi lingkungan dapat diturunkan atau dihilangkan dari lindi TPA dengan berbagai metoda yang telah digunakan sehingga aman untuk dibuang ke lingkungan.
- b. Penggunaan lindi TPA tanpa perlakuan menyebabkan kandungan bahan yang

berbahaya pada lindi akan diserap oleh tanaman/hewan.

- c. Lindi mengandung nutrisi yang dapat digunakan sebagai bahan pupuk untuk pertumbuhan tanaman.
- d. Penggunaan biochar dapat menurunkan kandungan logam berat pada tanah dan limbah cair yang tercemar logam berat
- e. Biochar dapat meningkatkan populasi dan aktivitas mikroorganismenya.

### Daftar Pustaka

- Ali, M. 2011. *Rembasan Air Lindi (Leachate Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan*. UPN Press. Surabaya.
- Ahmad, M., Sik Ok, Y., Kim, B-Y., Ahn, J-H., Lee, Y.H., Zhang, M., Moon, D.H., Al-Wabel, M.I., and Lee, S.S. Impact of soybean stover- and pine needle-derived biochars on Pb and As mobility, microbial community, and carbon stability in a contaminated agricultural soil. *Journal of Environmental Management* 166 (2016) 131-139.
- Anam, M.M., E. Kurniati., dan B. Suharto. 2013. Penurunan Kandungan Logam Pb dan Cr *Leachate* Melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum Hyemale*) dan Zeolit. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem* Vol. 1 No. 2, Juni 2013, 43-59.
- Anyika, C., Majid, Z.A., Rashid, M., Isa, A.B., Ismail, N., Zakaria, M.P., and Yahya, A. 2016. Toxic and nontoxic elemental enrichment in biochar at different production temperatures. *Journal of Cleaner Production* xxx (2016) 1-12.
- Arrizal, S., F. Rachmadiarti, dan Yuliani. 2013. Identifikasi Rhizobakteri pada Semanggi (*Marsilea crenata* Presl.) yang Terpapar Logam Berat Timbal (Pb). *Lentera Bio* Vol. 2 No.: 165–169.



- Banerjee, S., Mukherjee, S., LaminKa-ot, A., Joshi, S.R., Mandal, T., and Halder G. 2016. Biosorptive uptake of  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{As}^{5+}$  by activated biochar derived from *Colocasia esculenta*: Isotherm, kinetics, thermodynamics, and cost estimation. *Journal of Advanced Research* (2016)7, 597-610.
- Bhalla, B., Saini, M.S., and Jha, M.K. 2012. Characterization of Leachate from Municipal Solid Waste (MSW) Landfilling Sites of Ludhiana, India: A Comparative Study. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* ISSN: 2248-9622. Vol. 2, Issue 6, November- December 2012, pp.732-745.
- Boonnorat, J., Techkarnjanaruk, S., Honda, R. and Prachanurak, P. 2016. Effects of hydraulic retention time and carbon to nitrogen ratio on micro-pollutant biodegradation in membrane bioreactor for leachate treatment. *Bioresource Technology* 219 (2016) 53–63.
- Bordoloi, N., R. Goswami., M. Kumar., and R. Katak. 2017. Biosorption of Co (II) from aqueous solution using algal biochar: Kinetics and isotherm studies. *Bioresource Technology* xxx; xxx–xxx.
- Budi, S., Suliasih, B.A., Othman, M.S., Heng. L.Y., and Surif, S. 2016. Toxicity identification evaluation of landfill leachate using fish, prawn and seed plant. *Waste Management* 55 (2016) 231–237.
- Buss, W., Graham, M.C., Shepherd, J.G., and Mašek, O. 2016. Risks And Benefits Of Marginal Biomass-Derived Biochars For Plant Growth. *Science of the Total Environment* 569–570 (2016) 496–506.
- Cao, X., Ma, L., Gao, B., Harris, W., 2009. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. *Environmental Science Technology* 43, 3285–3291.
- Chemlal, R..C., Azzouz, L., Kernani, R., Abdi, N., Lounici, H., Grib, H., Mameri, N., and Drouiche, N. 2014. Combination Of Advanced Oxidation And Biological Processes For The Landfill Leachate Treatment. *Ecological Engineering* 73 (2014) 281–289.
- Chen, D., Xinzhi Yu, Song, Chao, X., li Pang, Huang, J., and Li, Y. 2016. Effect of pyrolysis temperature on the chemical oxidation stability of bamboo jbiochar. *Bioresource Technology* xxx (2016) xxx–xxx.
- Chen, Z., Wang X., Yang Y., Mirino Jr, M.W., and Yuan, Y. 2016 Partial nitrification and denitrification of mature landfill leachate using a pilot-scale continuous activated sludge process at low dissolved oxygen. *Bioresource Technology* 218 (2016) 580–588.
- Cui, E., Wu, Y., Zuo, Y., and Chen, H. 2016. Effect of different biochars on antibiotic resistance genes and bacterial community during chicken manure composting. *Bioresource Technology* 203 (2016) 11–17.
- Dimitriou, I., Aronsson, P., and Weih, M. 2006. Stress tolerance of five willow clones after irrigation with different amounts of landfill leachate. *Bioresource Technology* 97 (2006) 150–157.
- Direktorat Pengembangan PLP. 2013. Materi Bidang Sampah I. Diseminasi dan Sosialisasi Keteknikaan Bidang PLP.

- Direktorat Jenderal Cipta Karya. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Dolar, D., Košutic, K., and Strmecky, T. 2016. Hybrid Processes For Treatment Of Landfill Leachate: Coagulation /UF/NF-RO And Adsorption/UF/NF-RO. *Separation and Purification Technology* 168 (2016) 39–46.
- Emtiazi, G., Z. Ethemadifar., and M.H. Habibi. 2004. Production of extracellular polymer in *Azotobacter* and biosorption of metal by exopolymer. *African Journal of Biotechnology* Vol. 3 (6), pp. 330-333.
- Erni dan R. Hindersah. 2011. Biosorpsi kadmium dan komposisi eksopolisakarida *Azotobacter* sp pada dua konsentrasi  $\text{CdCl}_2$ . *Agrinimal*, Vol. 1, No. 1. Hal: 33-3
- Hadiwidodo, M., Oktiawan, W., Primadani, A.R., Parasmata, B.N., dan Gunawan, I. 2012. Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob Dan Wetland. *Jurnal Presipitasi* Vol. 9 No.2 September 2012.
- Hagner, M., Kemppainen, R., Jauhiainen, Tiilikkala, L.K., and Setälä, H. 2016. The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth. *Soil & Tillage Research* 163 (2016) 224–234.
- Huang, H., Huang, L., Zhang, Q., Jiang, Y., and Ding, L. 2015. Chlorination decomposition of struvite and recycling of its product for the removal of ammonium-nitrogen from landfill leachate. *Chemosphere* 136 (2015) 289–296.
- Iaconi, C.D., Ramadori, R., and Lopez, A. 2006. Combined biological and chemical degradation for treating a mature municipal landfill leachate. *Biochemical Engineering Journal* 31 (2006) 118–124.
- Jiang, X., Haddix, M.L., and Cotrufo, M.F. 2016. Interactions Between Biochar And Soil Organic Carbon Decomposition: Effects Of Nitrogen And Low Molecular Weight Carbon Compound Addition. *Soil Biology & Biochemistry* 100 (2016) 92-101.
- Jindo, K., Sonoki, T., Matsumoto, K., Canellas, L., Roig, A., and Sanchez-Monedero, M.A. 2016. Influence of biochar addition on the humic substances of composting manures. *Waste Management* 49 (2016) 545–552.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T.H., 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Crit. Rev. Environmental Science Technology* 32, 297–336.
- Koshy, L., Paris, M., Ling, S., Jones, T., BéruBé, K., 2007. Bioreactivity of leachate from municipal solid waste landfills – assessment of toxicity. *Science Total Environmental* 384,171–181.
- Larasati, A.I., L. D. Susanawati, dan B. Suharto. 2015. Efektivitas Adsorpsi Logam Berat Pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, Dan Silika Gel Di Tpa Tlekung, Batu. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Vol 2, No 1: 44-48.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447: 143-144
- Li, X., Zhu, W., Wu, Y., Wang, C., Zheng, J., Xu, K., and Li, J. 2015. Recovery of

- potassium from landfill leachate concentrates using a combination of cation - exchange membrane electrolysis and magnesium potassium phosphate crystallization. *Separation and Purification Technology* 144 (2015) 1–7.
- Liang, B., J. Lehmann., D. Solomon., J. Kinyangi., J. Grossman., B. O’Neill., J. O. Skjemstad., J. Thies., F. J. Luizao., J. Petersen., and E. G. Neves. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science Society of America J.* 70:1719–1730.
- Lin, L., W. Qiu., Di Wang., Q. Huang., Z. Song., and H. W. Chau. 2017. Arsenic removal in aqueous solution by a novel Fe-Mn modified biochar composite: Characterization and mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 144: 514–521.
- Lius, B. 2012. Pemanfaatan Limbah pertanian untuk membuat Biochar. <http://lius-basilus.blogspot.com/2012/4/pemanfaatan-limbah-pertanian-untuk-membuat-biochar>.
- Luo, L and Ji-Dong Gu. 2016. Alteration of extracellular enzyme activity and microbial abundance by biochar addition: Implication for carbon sequestration in subtropical mangrove sediment. *Journal of Environmental Management* 182 (2016) 29-36.
- Mavakala, B.K., Faucheur, S.L., Mulaji, C.K., Laffite, A., Devarajan, N., Biey, E.M., Giuliani, G., Otamonga, J-P., Kabatusuila, P., Mpiana, P.T., and Poté, J. 2016. Leachates Draining From Controlled Municipal Solid Waste Landfill: Detailed Geochemical Characterization And Toxicity Tests. *Waste Management* 55 (2016) 238–248.
- Modin, H., Persson, K.M., Andersson, A., and Praagh, M.v. 2011. Removal of metals from landfill leachate by sorption to activated carbon, bone meal and iron fines. *Journal of Hazardous Materials* 189 (2011) 749–754.
- Morozeck, M., Bonomo, M.M., Rocha, L.D., Duarte, I.D., Zanezi, E.R.L., Jesus, H.C., Fernandes, M.N., and Matsumoto, S.T. 2016. Landfill leachate sludge use as soil additive prior and after electrocoagulation treatment: A cytological assessment using CHO-k1 cells. *Chemosphere* 158 (2016) 66-71.
- Nurhasanah., Darusman L.K., Sutjahjo S.H., and Lay B.W. 2010. Pengolahan Lindi Sebagai Pupuk Cair Untuk Mendukung Pengembangan TPA Sampah Lestari. *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi, Volume 10, Nomor 1, Maret 2010, 49-64*.
- Oulego, P., Collado, S., Laca, A., and Díaz, M. 2016. Impact of leachate composition on the advanced oxidation treatment. *Water Research* 88 (2016) 389-402.
- Park, J.H., Choppala, G.K., Bolan, N.S., Chung, J.W., Chuasavathi, T., 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil* 348, 439–451.
- Pavel, LV., M. Diaconu., and M Gavrilescu. 2012. Studies of toxicity of chromium(VI) and cadmium(II) on some microbial species. 5th International Symposium on Biosorption and Bioremediation Prague.
- Pinem, J.A., Ginting, M.S., and Peratenta, M. 2014. Pengolahan Air Lindi TPA Muara

- Fajar dengan Ultrafiltrasi. *Jurnal Teknobiologi*, V(1) 2014: 43–46.
- Prasetya, Y.A., N.D. Kuswytasari, dan E. Zulaika. 2012. Adaptasi Genera *Bacillus* pada Media yang Mengandung Logam Timbal. *Environmental Technology Scientific Conference IX-2012. Advances in Agriculture and Municipal Waste Technology to Anticipate Food and Energy Crisis*. ISBN 978-602-95595-5-2.
- Puga, A.P, Melo, L.C.A., Aparecida de Abreu, C., Coscione, A.R., and Paz-Ferreiro, J. 2016. Leaching And Fractionation Of Heavy Metals In Mining Soils Amended With Biochar. *Soil & Tillage Research* 164 (2016) 25–33.
- Quilliam, R.S., Glanville, H.C., Wade, S.C., and Jones, D.L. 2013. Life in the ‘charosphere’ e Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms? *Soil Biology & Biochemistry* 65 (2013) 287-293.
- Rasulov, B.A., A. Yili, dan H.A. Aisa. 2013. Biosorption of Metal Ions by Exopolysaccharide Produced by *Azotobacter chroococcum* XU1. *Journal of Environmental Protection*, 4, 989-993.
- Sang N.N., Soda, S., Ishigaki, T., and Ike, M. 2012. Microorganisms In Landfill Bioreactors For Accelerated Stabilization Of Solid Wastes. *Journal of Bioscience and Bioengineering* Vol. 114 No. 3, 243 – 250, 2012.
- Satya, A., dan Larashati, S. 2012. Kemampuan Isolat Bakteri Dari Sedimen Situ Sebagai Aquatic *Bioremoval* Agent Ion Logam Timbal (Pb). *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VI*.
- Seneviratne, M., Weerasundara, L., Sik Ok, Y., Rinklebe, J., and Vithanage, M. Phytotoxicity attenuation in *Vigna radiata* under heavy metal stress at the presence of biochar and N fixing bacteria. *Journal of Environmental Management* xxx (2016) 1-8.
- Shamin Gul and Whalen, J.K. 2016. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils. *Soil Biology & Biochemistry* 103 (2016) 1-15.
- Song, X.D., Xue, X.Y., Chen, D.Z., He, P.J., and Dai, X.H. 2014. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. *Chemosphere* xxx (2014) xxx–xxx.
- Sun, D., Lan, Y., Genbo Xu, E., Meng, J., and Chen, W. 2016. Biochar as a novel niche for culturing microbial communities in composting. *Waste Management* 54 (2016) 93–100.
- Susanawati, L.D., Suharto, B., dan Kustamar. 2011. Penurunan Kandungan Logam Berat Pada Air Lindi dengan Media Zeolit Menggunakan Metoda Batch dan Metoda kontinyu. *Agrointek* Vol. 5, No. 2 Agustus 2011.
- Tamrat, M., Costa, C., and Márquez, M.C. 2012. Biological treatment of leachate from solid wastes: Kinetic study and simulation. *Biochemical Engineering Journal* 66 (2012) 46–51.
- Thines, K.R., Abdullah, E.C., Mubarak, N.M., and Ruthiraan, M. 2017. Synthesis of magnetic biochar from agricultural waste biomass to enhancing route for waste water and polymer application: A

- review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67 (2017) 257–276.
- Tian, J., Miller, V., Chiu, P.C., Maresca, J.A., Guo, M., and Imhoff, P.T. 2016. Nutrient release and ammonium sorption by poultry litter and wood biochars in stormwater treatment. *Science of the Total Environment* 553 (2016) 596–606.
- Uchimiya, M., Lima, I.M., Thomas Klasson, K., Chang, S., Wartelle, L.H., Rodgers, J.E., 2010. Immobilization of heavy metal ions (CuII, CdII, NiII, and PbII) by broiler litter-derived biochars in water and soil. *Journal Agriculture Food Chem.* 58,5538–5544.
- Vandecasteele, B., Sinicco, T., D'Hose, T., Nest, T.V., and Mondini, C. 2016. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. *Journal of Environmental Management* 168 (2016) 200-209.
- Wang, Y and R. Liu. 2017. Comparison of characteristics of twenty-one types of biochar and their ability to remove multi-heavy metals and methylene blue in solution. *Fuel Processing Technology* 160; 55–63
- Wu, SC., X.L. Peng., K.C. Cheung., S.L. Liu, and M.H. Wong. 2009. Adsorption kinetics of Pb and Cd by two plant growth promoting rhizobacteria. *Bioresource Technology* Vol. 100(20): 4559-4563.
- Wulandari, S.N., N.S. Dewi, dan Suwondo. 2005. Identifikasi Bakteri Pengikat Timbal (Pb) Pada Sedimen Di Sungai Siak. *Jurnal Biogenesis*, 1 [2]: 62-65.
- Xu, P., Sun, C-X., Ye, X-Z., Xiao, W-D., Zhang, Q, and Wang, Q. The effect of biochar and crop straws on heavy metal bioavailability and plant accumulation in a Cd and Pb polluted soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 132 (2016) 94–100.
- Zhang, Q.-Q., Tian, B.-H., Zhang, X., Ghulam, A., Fang, C.-R., and He, R., 2013. Investigation on characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants. *Waste Management*. 33, 2277-2286.
- Zolfaghari, M., Droguia P., Brar S.K., Buelna G., and Dube R. 2016. Effect Of Bioavailability On The Fate Of Hydrophobic Organic Compounds And Metal In Treatment Of Young Landfill Leachate By Membrane Bioreactor. *Chemosphere* 161 (2016) 390-399.
- Zupancic, M., Justin, M.Z., Bukovec, P., and Šelih, V.S. 2009. Chromium in soil layers and plants on closed landfill site after landfill leachate application. *Waste Management* 29 (2009) 1860–1869.