

**KANDUNGAN KADMIUM (Cd) PADA TANAH DAN CACING TANAH
DI TPAS PIYUNGAN, BANTUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**
*(Cadmium (Cd) Content in Soil and Earthworms in Piyungan Controlled Landfill Municipal
Waste Disposal, Bantul Yogyakarta Special District)*

Heny Mayasari Setyoningrum¹, Suwarno Hadisusanto² dan Tukidal Yunianto³

¹Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Jl. Lingkungan Budaya, Sekip Utara, Yogyakarta, 55281

²Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Jl. Teknik Selatan, Sekip Utara, Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 580839

³Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Sekip Utara Jalan Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 545965

Penulis korespondensi. Telp. (0274) 565722 Fax. (0274) 517863

Email: heny.mayasaris@gmail.com.

Diterima: 20 Februari 2014

Disetujui: 7 Juni 2014

Abstrak

Analisis kandungan logam berat cadmium (Cd) pada tanah dan cacing tanah telah dilakukan di TPAS Piyungan Bantul untuk mengetahui tingkat pencemaran Cd dalam tanah. Penelitian dibagi menjadi penelitian di lapangan yang meliputi pengambilan sampel tanah-cacing tanah dan pengukuran parameter lingkungan, serta penelitian di laboratorium yang meliputi analisis kandungan cadmium, bahan organik dan tekstur tanah. Tingkat pencemaran cadmium ditentukan menggunakan Indeks Kontaminasi-Polusi. Hasil penelitian memperlihatkan kandungan cadmium pada tanah di TPAS Piyungan antara tidak terdeteksi (< 0.01) – 0.47 ppm. Kandungan cadmium di TPAS Piyungan lebih rendah dibandingkan jumlah maksimum cadmium yang diperbolehkan di tanah dan khusus untuk zona III dan zona I titik *sampling* 1 dan 2 lebih tinggi dari standar kandungan cadmium pada tanah yang bebas polusi, sedangkan kandungan cadmium pada tanah kontrol lebih rendah dibandingkan kandungan cadmium secara umum pada tanah bebas polusi tersebut. Kandungan cadmium dalam tanah di lokasi TPAS tidak selalu lebih tinggi bila dibanding kontrol. Cacing tanah mengandung cadmium antara 0.35 – 0.45 ppm, kandungan cadmium dalam cacing tanah di beberapa lokasi TPAS lebih rendah dibanding kontrol. Tingkat pencemaran cadmium di TPAS Piyungan berada pada tingkat kontaminasi sangat ringan hingga kontaminasi sangat berat. Lokasi TPAS yang masih aktif digunakan memiliki tingkat kontaminasi lebih tinggi bila dibanding lokasi lain. Rasio cadmium pada tanah dan cacing tanah di TPAS Piyungan adalah 0.13 : 1.75.

Kata Kunci: *cadmium, tanah, cacing tanah, indeks kontaminasi-polusi*

Abstract

Cadmium (Cd) analysis has been done at Piyungan TPAS (Piyungan TPAS, stands for Tempat Pembuangan Akhir Sampah) for knowing the level of Cd contamination in soil. The research was divided into in-sites study, which consisted of soil and earthworms sampling, and soil environmental factors measurement, and laboratory analysis, which consisted of cadmium content, organic compounds and soil textures analysis. Cadmium pollution level analyzed with Contamination-Pollution Index. The results showed that cadmium content in soil were undetected (<0.01) – 0.47 ppm, it had lower content than maximum cadmium content allowed in soil. Especially for zone III and zone I sampling point 1 and 2, they had higher soil cadmium content than cadmium content standard for unpolluted soil, and for control areas, they had lower cadmium content than maximum cadmium content allowed in soil. The cadmium content in Piyungan TPAS soil were not always higher than control sites. Earthworms contained 0.35 – 0.45 ppm of cadmium and in several Piyungan TPAS's zones contained less cadmium than control sites. Cadmium pollution level were ranged from very slight contamination to very severe contamination. The active area of Piyungan TPAS had a worse cadmium contamination than other area. Cadmium ratio in soil and in earthworms were 0.13 : 1.75.

Keywords: *cadmium, soil, earthworms, contamination-pollution index*

PENDAHULUAN

Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) merupakan salah satu lokasi di wilayah perkotaan

yang sangat rawan tercemar cadmium karena kurangnya efektivitas kegiatan pengelolaan sampah dan penanganan bahan-bahan yang mengandung Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di masyarakat

dan di TPAS sendiri. Kadmium adalah salah satu jenis logam berat yang terdapat secara alami sebagai hasil pelapukan batuan dan erupsi maupun disebabkan aktivitas manusia terutama di industri baterai kering dan pertanian (Palar, 2008).

Kadmium dapat berada di dalam tanah. Faktor yang mempengaruhi peresapan kadmium dalam tanah yaitu kandungan bahan organik tanah, derajat keasaman (pH) tanah, ukuran partikel tanah, kemampuan pertukaran ion, dan temperatur tanah (Anonim, 2005; Palar, 2008; Kabata-Pendias, 2011). Kadmium juga dapat diserap dan diakumulasi dalam organisme tanah yang memiliki kemampuan resistensi terhadap kadmium. Salah satu jenis organisme tanah yang sering dijadikan sebagai bioindikator bioakumulasi kadmium adalah cacing tanah. Proses penyerapan kadmium oleh cacing tanah dipengaruhi oleh pH tanah dan jenis cacing tanah (Tischer, 2009; Yu, 2009).

Pencemaran kadmium dalam tanah, walaupun belum sampai menimbulkan kasus kematian dalam jumlah besar, namun dapat menimbulkan gangguan kesehatan bahkan kematian bagi manusia. Oleh karena itu, penelitian mengenai kandungan kadmium dalam tanah, baik secara langsung maupun tidak langsung menggunakan bioindikator pencemaran kadmium contoh cacing tanah, sangat penting dilakukan untuk menjaga kesehatan masyarakat.

Berdasarkan hal tersebut, tulisan ini mengangkat permasalahan mengenai kandungan kadmium dalam tanah dan cacing tanah, tingkat pencemaran kadmium, dan rasio kadmium dalam tanah-cacing tanah Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kandungan kadmium dalam tanah dan cacing tanah di TPAS Piyungan, menganalisis tingkat pencemaran kadmium di TPAS Piyungan, dan menganalisis rasio kandungan kadmium dalam tanah-cacing tanah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) Piyungan seluas 12.5 ha yang berada di Desa Sitimulyo, Kecamatan, Piyungan Kabupaten Bantul, DIY pada bulan April hingga bulan Juni 2012. Tahapan penelitian meliputi survei lokasi, pengumpulan data dan analisis data.

Survei lokasi

Tujuan survei adalah untuk menentukan titik *sampling* sekaligus mengumpulkan data sekunder. Survei lokasi dilakukan dengan cara pengamatan di lokasi penelitian dengan bantuan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) TPAS Piyungan dengan skala 1:

75.000, selain itu digunakan peta citra zonasi TPAS Piyungan dengan skala 1: 4.000 seperti ditampilkan pada Gambar 1.

Pengumpulan Data

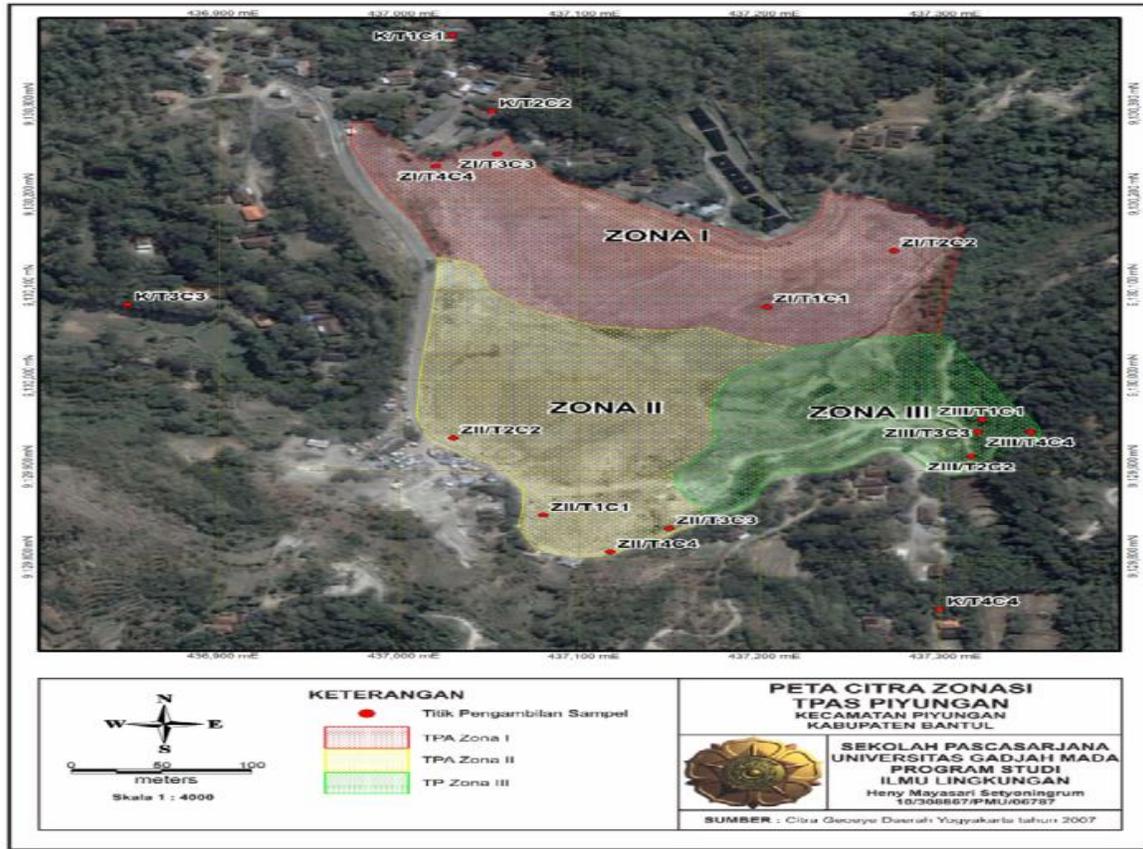
Data penelitian berupa data yang diambil langsung di lapangan dan data yang diolah di laboratorium. Data yang diambil langsung saat *sampling*, seperti derajat keasaman (pH), kelembaban dan suhu tanah. Data yang memerlukan pengolahan di laboratorium berupa sampel tanah dan cacing tanah. Sampel tanah diolah lebih lanjut untuk dianalisis kandungan kadmium, bahan organik dan tekstur tanah, sedangkan sampel cacing tanah diidentifikasi hingga tingkat genus, kemudian dianalisis kandungan kadmium di dalam tubuhnya.

Lokasi *sampling* cacing tanah ditentukan menggunakan metode *purposive* (Yunus, 2010) dengan pertimbangan umur pemakaian lahan di TPAS Piyungan. Lokasi *sampling* tanah ditentukan dengan menggunakan metode *purposive* (Yunus, 2010) berdasarkan lokasi ditemukan cacing tanah. Pada tiap lokasi *sampling* dilakukan 4 kali ulangan pengambilan sampel. Penandaan lokasi *sampling* dilakukan melalui pencatatan koordinat menggunakan alat GPS (*Global Positioning System*). Peta citra lokasi penelitian dan desain *sampling* penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

Sampel tanah diambil menggunakan cangkul dan penggaruk tanah, sedangkan sampel cacing tanah diambil menggunakan metode *handsorting* (Maftu'ah dan Susanti, 2009). Bersamaan dengan pengambilan sampel tanah, dilakukan juga pengukuran parameter lingkungan tanah yaitu pH dan kelembaban tanah menggunakan *soil tester*, serta suhu tanah menggunakan termometer air raksa.

Analisis Data

Sebagian sampel tanah yang telah diambil dari lokasi pengambilan sampel dianalisis di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada untuk mengetahui kandungan bahan organik total tanah dengan metode *Walkley & Black* dan tekstur tanah dengan metode pemisahan 3 fraksi. Sampel cacing tanah yang telah diambil dari lokasi penelitian diidentifikasi hingga tingkat genus menggunakan kunci determinasi cacing tanah Modifikasi Kemas di Laboratorium Ekologi Fakultas Biologi UGM dan dianalisis lebih lanjut bersama sebagian sampel tanah yang lain untuk mengetahui kandungan total kadmium di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) UGM dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS) nyala.



Gambar 1. Peta citra zonasi TPAS Piyungan dan desain *sampling* penelitian, skala 1 : 4.000 (Sumber : Citra geoeye Daerah Yogyakarta tahun 2007)

Tingkat pencemaran kadmium dianalisis menggunakan Indeks Kontaminasi-Polusi (Indeks K-P) berdasarkan metode Lacatusu (1998), yang dicari dengan membagi konsentrasi kadmium hasil analisis dengan Nilai Referensi (Nr) yaitu level konsentrasi logam yang disarankan untuk tanah tersebut

$$Nr = 0,4 + 0,007 (A + 3MO) \quad (1)$$

$$Indeks K - P = \frac{L}{Nr} \quad (2)$$

Keterangan:

Nr = Nilai Referensi (nilai yang disarankan)

A = persentase lempung (*clay*) pada sampel tanah

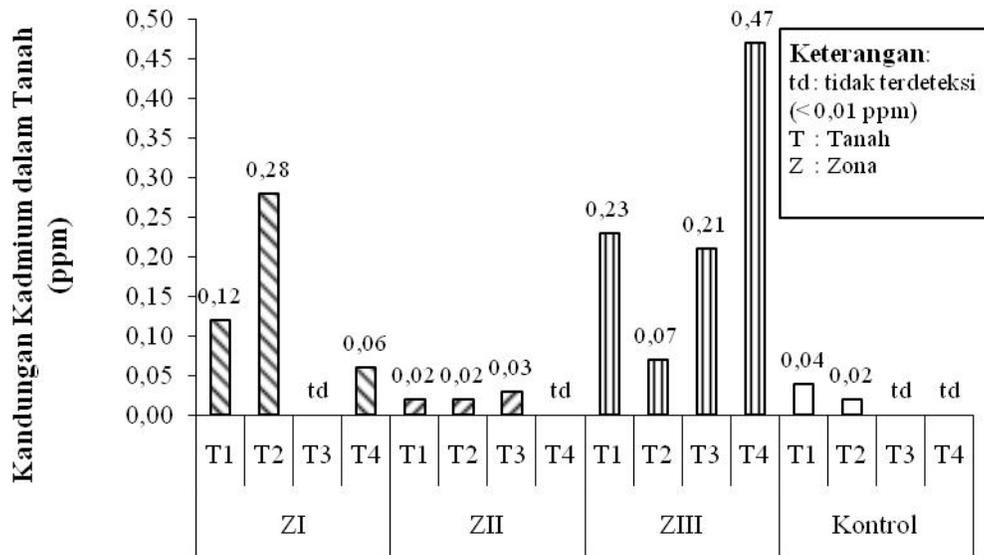
MO = persentase bahan organik pada sampel tanah

L = hasil analisis laboratorium kandungan logam

Tabel 1. Interval signifikansi indeks K-P

Index K-P	Signifikansi	Simbol
< 0.1	<i>Very slight contamination</i> (kontaminasi sangat ringan)	v.s.l.
0.10 – 0.25	<i>Slight contamination</i> (kontaminasi ringan)	s.l.
0.26 – 0.50	<i>Moderate contamination</i> (kontaminasi sedang)	m.l.
0.51 – 0.75	<i>Severe contamination</i> (kontaminasi berat)	st.l.
0.76 – 1.00	<i>Very severe contamination</i> (kontaminasi sangat berat)	v.st.l.
1.10 – 2.00	<i>Slight pollution</i> (polusi ringan)	s.p.
2.10 – 4.00	<i>Moderate pollution</i> (polusi sedang)	m.p.
4.10 – 8.00	<i>Severe pollution</i> (polusi berat)	st.p.
8.10 – 16.00	<i>Very severe pollution</i> (polusi sangat berat)	v.st.p.
> 16.0	<i>Excessive pollution</i> (polusi luar biasa berat)	e.p.

Sumber : Lacatusu (1998)



Gambar 2. Kandungan kadmium dalam tanah di lokasi TPAS Piyungan. Keterangan : T=tanah, Z=zona, td=tidak terdeteksi (<0.01 ppm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Kadmium dalam Tanah di TPAS Piyungan

Kandungan kadmium dalam tanah di TPAS Piyungan bervariasi di tiap Zona (Gambar 2). Kandungan kadmium di zona I dan zona III lebih tinggi dibanding zona II dan lokasi kontrol. Secara umum, kandungan kadmium di dalam tanah di lokasi TPAS Piyungan sebesar tidak terdeteksi (<0.01) – 0.47 ppm, maksimum yang diperbolehkan di tanah yaitu 5 ppm (Lacatusu, 1998). Tanah di lokasi kontrol mengandung kadmium lebih rendah dibanding kandungan secara umum pada tanah yang bebas polusi, yaitu 0,06 ppm (Widaningrum dkk, 2007).

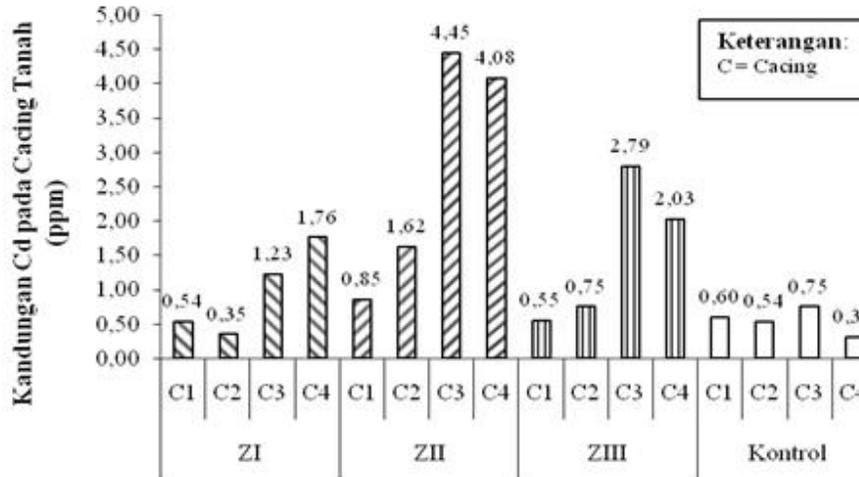
Kandungan kadmium tertinggi terdapat di zona III yang merupakan tempat pengelolaan sampah yang masih aktif digunakan, sehingga secara berkelanjutan mendapat masukan sampah yang diduga mengandung kadmium, contoh baterai kering, peralatan elektronik dan PVC. Kandungan kadmium terendah adalah di zona II. Faktor yang dapat menyebabkan hal tersebut adalah tidak adanya masukan sampah dan kemungkinan terjadinya mobilisasi logam berat yang masuk ke dalam air tanah dan mengalir ke lokasi yang lebih rendah. Kandungan kadmium di lokasi kontrol sangat rendah. Hal itu disebabkan karena kondisi tanah yang subur, ditumbuhi oleh banyak vegetasi, tidak adanya industri yang potensial menyebabkan pencemaran kadmium dan sangat jarang dijumpai sampah yang potensial mengandung limbah B3.

Keberadaan kadmium di dalam tanah tidak dapat dipisahkan dari faktor-faktor lingkungan yang

mempengaruhi peresapan logam berat ke dalam tanah. Faktor-faktor tersebut adalah pH dan bahan organik tanah. Kandungan kadmium di dalam tanah dengan pH rendah cenderung lebih kecil bila dibanding pada tanah dengan pH tinggi. Pada kondisi tanah dengan pH rendah, unsur kadmium akan larut dalam air tanah sehingga lebih mudah tercuci ke lapisan bawah tanah apabila turun hujan atau akan ikut terserap oleh akar tanaman pada proses penyerapan nutrisi. Pada kondisi tanah dengan pH tinggi, kadmium akan terikat oleh koloid tanah dan bahan organik atau diendapkan dalam bentuk hidroksida, sehingga terhindar dari proses pencucian dan penyerapan oleh akar tanaman (Atmojo, 2003).

Bahan organik tanah turut mempengaruhi kandungan kadmium dalam tanah. Bahan organik akan berikatan dengan logam berat membentuk kelasi/kelat. Kelasi bahan organik dapat mengatur ketersediaan logam di dalam tanah (Alloway dan Ayres, 1997).

Faktor lain yang dapat mempengaruhi kandungan kadmium di dalam tanah adalah kontinuitas masukan sampah, pencemaran kadmium yang berasal dari emisi bahan bakar fosil kendaraan bermotor, dan bioakumulasi kadmium dalam tubuh hewan dan tumbuhan. Masukan sampah yang teratur menyebabkan semakin banyak sampah yang berpotensi mengandung B3 masuk ke dalam TPAS Piyungan, sehingga berpotensi meningkatkan kandungan kadmium dalam tanah. Emisi bahan bakar fosil kendaraan bermotor dapat berasal dari aktivitas pengelolaan sampah, seperti pengangkutan dan pembuangan sampah serta penimbunan sampah. Bioakumulasi logam berat di



Gambar 3. Kandungan kadmium pada tubuh cacing tanah di TPAS Piyungan. Keterangan: Z=zona, C=cacing

dalam tubuh hewan dan tumbuhan dapat menyebabkan berkurangnya kandungan kadmium dalam tanah. Beberapa jenis hewan dan tumbuhan dapat mengakumulasi logam berat di dalam jaringan dan organ tubuhnya, contoh cacing tanah, sapi, dan rumput (Alloway dan Ayres, 1997; Kabata-Pendias, 2011).

Kandungan Kadmium pada Tubuh Cacing Tanah di TPAS Piyungan

Cacing tanah yang hidup di lokasi penelitian rawan terkontaminasi logam berat. Cacing tanah mampu menyerap logam berat melalui makanan yang telah terkontaminasi logam berat dan melalui difusi permukaan tubuh. Hasil analisis kandungan kadmium dalam cacing tanah disajikan pada Gambar 3.

Kandungan kadmium dalam cacing tanah bervariasi pada tiap zona. Cacing tanah di zona II mengandung kadmium paling tinggi dibanding zona yang lain, sedangkan di zona III lebih tinggi dibanding zona I dan kontrol, tetapi masih lebih rendah dari zona II.

Kandungan kadmium dalam tubuh cacing tanah di TPAS Piyungan dipengaruhi oleh jenis cacing tanah. Cacing tanah yang termasuk dalam kelompok cacing *epigeik* memiliki kandungan kadmium lebih tinggi bila dibanding kelompok cacing *endogeik*. Semakin besar kandungan bahan organik dalam tanah menyebabkan kemungkinan kandungan kadmium dalam cacing tanah semakin besar (Hanafiah dkk., 2005; Tischer, 2009; Yu, 2009).

Hasil penelitian ini menunjukkan indikasi ke arah tersebut. Cacing tanah di zona II dan zona III didominasi oleh *Eisenia sp.*, sedangkan di zona I

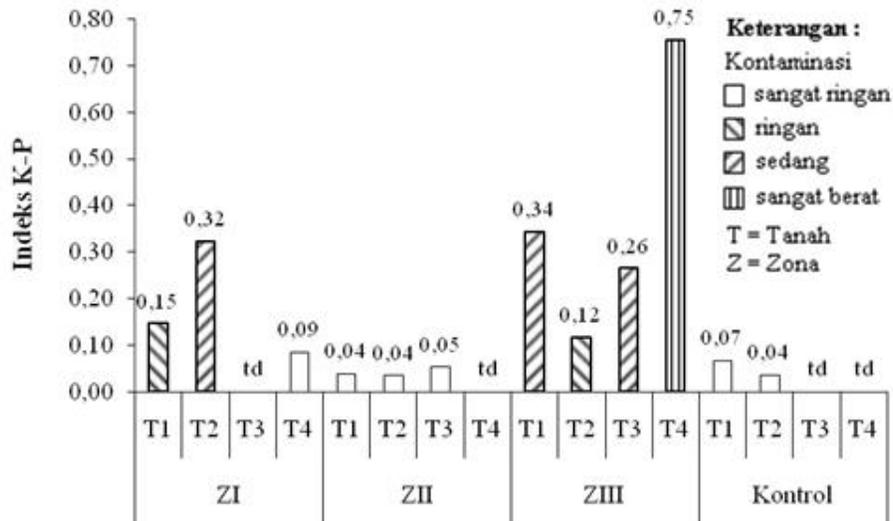
antara *Lumbricus sp.* dan *Eisenia sp.* seimbang dan kontrol didominasi *Lumbricus sp.* (Gambar 3).

Kisaran kandungan kadmium dalam tubuh cacing tanah di lokasi penelitian masih di bawah batas mematikan bagi cacing tanah karena lebih rendah dibanding *Lethal Doses* (LD_{50}) 48 jam kadmium pada *L. terrestris* dan *E. foetida*, namun demikian bioakumulasi kadmium tetap dapat menyebabkan menurunnya kemampuan reproduksi dan mengganggu pertumbuhan *kokon* cacing tanah (Bengtsson *et al.*, 1992; Kaonga *et al.*, 2001). Kisaran kandungan kadmium dalam cacing tanah di lokasi penelitian yaitu 0.31 – 4.45 ppm, sedangkan LD_{50} 48 jam kadmium pada *L. terrestris* 22 ppm (Anonim, 1999) dan LD_{50} 48 jam kadmium pada *E. foetida* sebesar 253 – 1843 ppm (Nguyen dan Furst, 1988).

Tingkat Pencemaran Kadmium pada Tanah di TPAS Piyungan

Tingkat pencemaran Kadmium pada tanah di TPAS Piyungan ditentukan berdasarkan Indeks Kontaminasi-Polusi (Indeks K-P) (Lacatusu, 1998) Besarnya Indeks K-P tanah di lokasi penelitian bervariasi pada tiap zona dan kontrol seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, tingkat pencemaran kadmium di TPAS Piyungan berada pada tingkat kontaminasi sangat ringan hingga kontaminasi sangat berat.

Indeks K-P kadmium dipengaruhi oleh besarnya kandungan kadmium, bahan organik dan lempung tanah (Lacatusu, 1998), sehingga tanah yang memiliki nilai indeks K-P besar disebabkan karena tanah tersebut mengandung kadmium, bahan organik dan lempung yang lebih tinggi dibanding tanah dengan nilai indeks K-P lebih kecil.



Gambar 4. Indeks K-P Kadmium di TPAS Piyungan

Tabel 2. Faktor konsentrasi kadmium pada cacing tanah di TPAS Piyungan

Zona	Rerata kandungan Cd pada cacing tanah (ppm)	Rerata kandungan Cd pada tanah (ppm)	Faktor Konsentrasi (FK) kadmium pada cacing tanah
Zona I	0.97	0.11	8.82
Zona II	2.75	0.02	137.50
Zona III	1.53	0.25	6.12
Rerata	1.75	0.13	13.82
Kontrol	0.55	0.01	55.00

Rasio Kadmium dalam Tanah-Cacing Tanah

Rasio kadmium dalam tanah-cacing tanah dipergunakan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya bioakumulasi kadmium dalam tubuh cacing tanah. Rasio kadmium dalam tanah-cacing tanah pada penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan kadmium cacing tanah lebih besar dibanding kandungan kadmium dalam tanah dan cacing tanah sebesar 0.13 : 1.75. Rasio tersebut mengindikasikan kemungkinan terjadi bioakumulasi kadmium dalam cacing tanah di TPAS Piyungan.

Analisis lebih lanjut mengenai kemungkinan terjadi bioakumulasi kadmium dapat dilakukan dengan menghitung besarnya Faktor Konsentrasi (FK) kadmium yang diperoleh dari membandingkan antara besarnya kandungan logam berat dalam cacing tanah dengan besarnya kandungan logam berat dalam tanah tempat hidup cacing. Hubungan antara FK dengan kemungkinan terjadinya bioakumulasi adalah semakin besar FK maka semakin besar kemungkinan terjadinya bioakumulasi logam berat (Kabata-Pendias, 2011).

Hasil penelitian tentang FK kadmium pada cacing tanah di TPAS Piyungan disajikan pada Tabel 2.

FK dipengaruhi oleh jenis cacing tanah sebab kemampuan resistensi dan penyerapan logam berat berbeda di setiap jenis cacing (Tischer, 2009; Kabata-Pendias, 2011). Zona II memiliki FK tertinggi karena cacing tanah yang ada di zona II memiliki kemampuan resistensi dan penyerapan kadmium relatif lebih tinggi dibanding cacing di zona yang lain dan kontrol.

FK juga dipengaruhi oleh besarnya kandungan kadmium dalam tanah. Kandungan kadmium yang rendah dalam tanah dapat meningkatkan FK, hal itu menunjukkan jumlah kadmium yang diserap oleh organisme tanah lebih besar dibanding jumlah kadmium dalam tanah (Kabata-Pendias, 2011).

KESIMPULAN

Kandungan kadmium dalam tanah di TPAS Piyungan bervariasi di tiap Zona. Kandungan kadmium di zona I dan zona III lebih tinggi dibanding zona II dan lokasi kontrol. Secara umum, kandungan kadmium di dalam tanah di lokasi TPAS Piyungan sebesar tidak terdeteksi (<0.01) – 0.47 ppm.

Kandungan kadmium dalam cacing tanah bervariasi pada tiap zona. Cacing tanah di zona II mengandung kadmium paling tinggi dibanding zona yang lain, sedangkan di zona III lebih tinggi dibanding zona I dan kontrol, tetapi masih lebih rendah dari zona II. Secara umum, kandungan kadmium di dalam tubuh cacing tanah di lokasi TPAS Piyungan sebesar 0.31 – 4.45 ppm.

Tingkat pencemaran kadmium di TPAS Piyungan berada pada tingkat kontaminasi sangat ringan hingga kontaminasi sangat berat. Rasio rerata kandungan kadmium dalam tanah dan cacing tanah sebesar 0.13 : 1.75. Rasio tersebut mengindikasikan kemungkinan terjadi bioakumulasi kadmium dalam cacing tanah di TPAS Piyungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J., dan Ayres, D.C., 1997. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. Blackie Academic and Professional. London.
- Anonim, 1999. Canadian Soil Quality Guidelines for The Protection of Environmental and Human Health. Canadian Council of Ministers of The Environment, <www.ccme.ca/ourwork/soil.html?category_id=44> diakses tanggal 2 Februari 2014.
- Anonim, 2005. Level of Cadmium in the Environment <http://cadmium.ionainteractive.com/pg_n.php?id_menu=6> diakses tanggal 5 Januari 2012.
- Atmojo, S.W., 2003. Peranan Bahan Organik Terhadap Kesuburan Tanah dan Upaya Pengelolaannya. *Pidato Pengukuhan Guru Besar Ilmu Kesuburan Tanah*: Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Bengtsson G., Ek, H., Rundgren, S., 1992. Evolutionary Response of Earthworms to Long-Term Metal Exposure. *Oikos*, 63: 289-297.
- Hanafiah, K.A., Anas, I., Napoleon, A., Ghoffar, N., 2005. *Biologi Tanah : Ekologi dan Makrobiologi Tanah*. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Kabata-Pendias, A., 2011. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th.Ed. CRC Press, USA.
- Kaonga, C.C., Kumwenda, J., Mapoma, H.T., 2010. Accumulation of Lead, Cadmium, Manganese, Copper and Zinc by Sludge Worms: *Tubifex tubifex* in Sewage Sludge. *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 7(1): 119-126.
- Lacatusu, R., 1998. Appraising Levels of Soil Contamination and Pollution With Heavy Metals. *European Soil Bureau Research Report*, No.4: 393-402.
- Maftu'ah, E., dan Susanti, M.E., 2009. Komunitas Cacing Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Gambut di Kalimantan Tengah. *Berita Biologi*, 9(4): 371-378.
- Nguyen, Q., dan Furst, A., 1988. Acute Toxicity of Cadmium and Zinc in The Earthworms (*Lumbricus terrestris*). *Biol Trace Elem Res*, 18: 81-83.
- Palar, H., 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.
- Tischer, S., 2009. Earthworms (Lumbricidae) as Bioindicators: The Relationship Between In-Soil and In-Tissue Metal Content. *Pol. J. Ecol*, 57(3): 513-523.
- Widaningrum, Miskiyah, dan Suismono, 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. *Buletin Teknologi Pasca Panen Pertanian*, 3: 16-27.
- Yu, S., 2009. Bioaccumulation of Metals in Earthworms. *Dissertation*: Graduate School of The Ohio University. Ohio.
- Yunus, H.S., 2010. *Metodologi Penelitian: Wilayah Kontemporer*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.