

PENURUNAN LOGAM Fe PADA PENGOLAHAN LUMPUR LIMBAH MENGUNAKAN CACING *LUMBRICULUS sp.*

Ro'du Dhuha Afrianisa¹⁾

¹⁾ Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email: rodu@itats.ac.id

Abstrak

Lumpur hasil pengolahan limbah industri sering mengandung logam berat, polutan organik dan bakteri patogen. Fe (besi) merupakan logam yang bila dalam jumlah besar di lingkungan dapat menyebabkan toksik pada lingkungan. Pengolahan lumpur menggunakan *Lumbriculus sp.* (cacing akuatik) merupakan alternatif dalam mengurangi jumlah lumpur yang dihasilkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah. *Lumbriculus sp.* mampu mengakumulasi logam secara biologis (bioakumulasi) yang selanjutnya dapat terjadi pengurangan logam berat dalam lumpur. Penelitian dilakukan dengan menambahkan cacing *Lumbriculus sp.* pada lumpur dari unit reservoir IPAL dengan rasio berat cacing:lumpur adalah 0,4; 0,6; dan 0,8. Pengamatan penurunan kadar Fe pada lumpur dilakukan setiap hari selama 7 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan kadar Fe pada lumpur unit secondary treatment menggunakan cacing akuatik. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan Fe pada lumpur pada hari ke 7 sebesar 15,44% rasio 0,6 dan 21,87% rasio 0,8. Terjadi perbedaan pada rasio 0,4 penurunan logam Fe sebesar 21,09% pada hari ke 6.

Keywords: cacing *Lumbriculus sp.*, Fe, lumpur limbah.

Abstract

Industrial waste produced sludge often contains heavy metals, organic contaminants and pathogenic bacteria. Fe (iron) is a metal which can cause toxicity in large amounts in the environment. Aquatic worm are used to treated sludge as an alternative in reducing the amount of sludge generated from wastewater treatment plant. *Lumbriculus sp.* capable of biologically accumulating metals (bioaccumulation) that can lead to reduced heavy metals in sludge. The analysis was carried out with addition of *Lumbriculus sp.* on wastewater treatment plant in reservoir sludge unit. In the processing, the weight ratio of worm/sludge is 0.4; 0.6; and 0.8. The observation of the Fe content reduction was carried out every day for 7 days. The purpose of this study was to determine the decrease in Fe content in secondary treatment sludge using aquatic worms. The result of this study showed how a decrease of 15,44% in ratio 0.6 and 21,87% in ratio 0.8 on the 7th day. A separate decrease in Fe was observed 21.09% in the ratio 0.4 on 6th day.

Keywords: *Lumbriculus sp.*, Fe, sewage sludge.

1. PENDAHULUAN

Pengolahan air limbah secara biologis akan menghasilkan lumpur sebagai bentuk pemisahan antara polutan yang tercampur dengan air. Lumpur hasil pengolahan menjadi salah satu tantangan serius dalam pengolahan air limbah. Hal tersebut sebagai akibat dari adanya hukum yang mengatur, besarnya biaya dan keresahan masyarakat akibat pembuangan lumpur dari pengolahan limbah (Wei *et al.*, 2008). Lumpur yang mengandung bahan berbahaya dan beracun apabila tidak diolah dengan benar dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan dan

Dikirim/submitted: 12 Mei 2020

Diterima/accepted: 22 Mei 2020

kesehatan manusia. Adanya beban lebih yang masuk kedalam lingkungan sehingga lingkungan tidak mampu menampung beban tersebut dan dapat terjadi magnifikasi pada manusia sehingga membahayakan untuk kesehatan. Menurut Sanin *et al.* (2011), air limbah industri mengandung logam berat diantaranya adalah Fe. Fe merupakan logam bila dalam jumlah besar di lingkungan dapat menyebabkan toksik bagi lingkungan. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan kadar logam Fe dalam salah satu lumpur limbah dari unit *secondary treatment*. Hasil dari analisis tersebut adalah lumpur mengandung Fe sebesar 18.902,8 mg/kg.

Menurut Zhang *et al* (2012), cacing akuatik seperti *Tubificidae*, *Lumbriculidae* dan *Aeolosomatidae* dapat mengurangi lumpur dari proses pengolahan air limbah. *Lumbriculus sp.* merupakan cacing akuatik dengan golongan oligochaeta yang mampu mereduksi lumpur dan mengakumulasi logam. *Lumbriculus sp.* merupakan organisme yang toleran terhadap pencemar. *Lumbriculus sp.* pada umumnya digunakan untuk mengukur biokonsentrasi kontaminan pada sedimen (Karlsson, 2013). Cacing-cacing tersebut mengkonsumsi lumpur sebagai makanannya.

Pengolahan air limbah secara biologis akan menghasilkan lumpur biologis (biosolid), bakteri, bahan organik dan anorganik, fosfor dan senyawa nitrogen serta beberapa jenis polutan seperti logam berat, polutan organik dan patogen (Elissen *et al.* 2010). Menurut *Water Environment Federation* (1998), biosolid adalah padatan dari air limbah yang merupakan produk organik yang secara menguntungkan dapat digunakan setelah pengolahan stabilisasi dan komposting. Karakteristik lumpur mengandung kadar air 87,19%, kadar solid 12,81%, volatil solid 74,44%, karbon 41,36% dan nilai kalor 4168 cal/gram (Lestari dan Yudihanto, 2013). Kandungan pada lumpur tersebut dapat dimanfaatkan sebagai makanan cacing akuatik. Lumpur yang terbentuk dari pengolahan limbah akan mengakibatkan penebalan pada unit pengolahan lumpur. Adapun pengolahan lumpur menggunakan teknik *dewatering* dan *thickening*. Lumpur yang menumpuk di unit pengolahan harus diolah untuk mengurangi beban pada lingkungan dan biaya pengolahan. (Wei *et al.*, 2008). Pengolahan lumpur secara konvensional (*dewatering* dan *thickening*) diketahui masih mengandung Fe. Penelitian ini menganalisis mengenai penurunan Fe dengan memanfaatkan cacing akuatik *Lumbriculus sp.* dalam mengakumulasi logam.

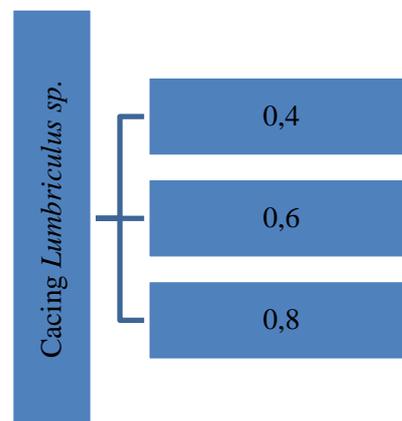
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan reaktor cacing akuatik yang diisi air dengan oksigen kemudian ditambahkan lumpur. Analisis penurunan Fe pada lumpur dilihat dari dua kompartemen yaitu

kompartemen air dan kompartemen lumpur dengan cacing. Pengujian penurunan Fe dilakukan dengan memvariasikan rasio berat cacing per berat lumpur (cacing:lumpur). Jenis cacing akuatik yang digunakan adalah *Lumbriculus sp.* Lumpur berasal dari limbah industri dan limbah domestik. Variasi rasio berat cacing:lumpur yang digunakan adalah 0,4; 0,6; dan 0,8. Pemilihan rasio tersebut digunakan untuk menentukan pemenuhan kecukupan lumpur dengan cacing. Penurunan kadar Fe dihitung dengan mengukur kandungan Fe lumpur dalam reaktor setiap hari selama 7 hari. Setiap sehari sekali dilakukan pula analisis kandungan logam Fe pada cacing dan air. Pengambilan sampel dilakukan setiap pukul 08.00 WIB.

2.1 Persiapan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah lumpur hasil pengolahan limbah domestik dan industri. Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa reaktor uji. Reaktor uji berisi lumpur diisi dengan cacing *Lumbriculus sp.* Variasi reaktor dibuat berdasarkan berat cacing banding berat lumpur. Menurut Buys, *et al.* (2008), rasio minimum berat cacing:lumpur adalah 0,4 dan rasio 0,6 kematian cacing akan meningkat. Perbandingan rasio 0,8 dipilih untuk menjamin kecukupan lumpur terhadap cacing. Dari data tersebut dijadikan dasar pemilihan rasio berat cacing:lumpur. Variasi untuk pengolahan lumpur menggunakan *Lumbriculus sp.* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Variasi rasio berat cacing/lumpur

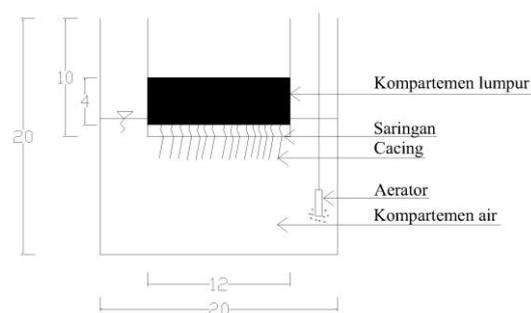
Perhitungan volume lumpur yang dibutuhkan sesuai rasio berat cacing/berat lumpur. Diketahui densitas lumpur sebesar 1 gr/cm³. Adapun berat cacing dan lumpur yang digunakan sesuai dengan rasio dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Berat cacing dan lumpur dalam reaktor

Jenis cacing	rasio	berat cacing (gr)	Volume lumpur (mL)
	0,4	± 5	± 23,6
<i>Lumbriculus sp</i>	0,6	± 7,5	± 23,6
	0,8	± 10	± 23,6

2.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan reaktor yang terdiri dari 3 komponen utama yaitu lumpur, cacing, dan air. Kompartemen lumpur berada dibagian atas kompartemen air kemudian ditambahkan cacing sebagai predator lumpur. Kompartemen air berada dibagian bawah bersentuhan dengan kompartemen lumpur, yang mana diharapkan bagian ekor cacing menyentuh air. Kompartemen air dibutuhkan untuk menyesuaikan dengan habitat cacing akuatik. Kompartemen lumpur dilengkapi dengan saringan. Saringan yang digunakan berupa saringan sablon yang berbahan nilon. Saringan ini berfungsi sebagai media menempel cacing sehingga cacing dapat mengambil substrat dari kompartemen lumpur dan mengambil oksigen dari kompartemen air. Reaktor terbuat dari bahan kaca dengan dimensi 20cmx20cmx20cm. Reaktor tersebut diisi air dengan ketinggian 10 cm dan diisi dengan kantung saringan berukuran 15cmx15cmx10cm. Lumpur yang digunakan diambil dari bangunan *Sludge Drying Bed* (SDB) IPAL SIER Surabaya. Cacing yang digunakan adalah cacing akuatik Cacing *Lumbriculus sp.* dengan panjang panjang ± 12 cm. Detail reaktor cacing pengolah lumpur dapat dilihat pada gambar 2.

**Gambar 2.** Reaktor cacing

2.3 Metode Analisis

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah logam Fe menggunakan metode spektrofotometri serapan atom. Pengujian kadar besi dilakukan dalam bentuk persenyawaan

kompleks. Reagen pengompleks yang banyak diusulkan yaitu 1,10 fenantrolin (Anjarsari dan Sugiarto, 2015). Prosedur analisis yaitu menguji kadar Fe lumpur, cacing, dan air. Sampel cacing akuatik dipisahkan dari sedimen lumpur dan kotoran yang melekat dipermukaan tubuhnya. Sampel lumpur dan cacing yang telah terpisah dikeringkan dengan oven suhu 105°C selama 24 jam kemudian sebanyak 0,1 gram sampel kering pada masing masing sampel dimasukkan kedalam *beaker glass* dan dilarutkan dengan aquades sebanyak 25ml. Sampel cacing dan sampel lumpur didestruksi menggunakan 1ml HCl. Larutan yang terbentuk ditambahkan hydroxylamine sebanyak 0,5 mL kemudian dipanaskan hingga volume menjadi 15-20 mL. Encerkan kembali larutan dengan aquades, hingga volume 25 ml dan tambahkan 5 mL ammonium acetat buffer serta 1mL phenantrolin. Nilai Fe pada masing masing sampel dibaca menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 μm .

Analisis kondisi lingkungan dibutuhkan untuk mengetahui apakah tingkat akumulasi terpengaruh oleh kondisi lingkungan yang buruk atau kondisi lingkungan yang ada sudah sesuai untuk menunjang kehidupan cacing akuatik. Kondisi lingkungan diukur pada reaktor cacing yang meliputi parameter pH, temperatur dan oksigen terlarut. Analisis pH menggunakan metode 4500 H⁺ Electrometric Method dengan menggunakan alat *basic* pH-meter (APHA, 2005). Analisis DO dilakukan dengan menggunakan DO meter. Analisis temperatur dilakukan dengan menggunakan alat termometer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Lingkungan pada Reaktor Uji

Reduksi lumpur menggunakan cacing berhubungan erat dengan kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas cacing (Lou *et al.*, 2013). Tingginya reduksi lumpur dapat dicapai dengan kemampuan cacing bertahan hidup dengan baik dalam reaktor. Reaktor uji yang telah terisi air dan lumpur ditambah dengan cacing *Lumbriculus sp.*, selanjutnya mengamati kondisi perilaku cacing. Kondisi cacing pada saat berada pada lumpur terlihat melakukan pergerakan dan perpindahan saat di dalam reaktor. Hal tersebut menunjukkan bahwa cacing dapat hidup dalam reaktor uji. Sebelum melakukan eksperimen, analisis kandungan Fe pada lumpur telah dilakukan dan hasilnya adalah 18.902,8 mg/kg.

Kondisi lingkungan seperti temperatur, pH, oksigen terlarut, toksisitas ammonia berpengaruh pada konsumsi lumpur oleh cacing (Hendrickx *et al.* 2009). Kondisi lingkungan yang diukur pada reaktor cacing dalam penelitian ini meliputi parameter pH, temperatur dan oksigen

terlarut. Analisis ketiga parameter tersebut dilakukan pada kompartemen air saja. Penyesuaian kondisi lingkungan penting dilakukan untuk mengoptimalkan kerja dari reaktor cacing dalam mengolah lumpur limbah.



Gambar 3. Reaktor cacing *Lumbricus sp.*

Kondisi pH air pada cacing *Lumbricus sp.* mengalami fluktuatif, namun selisihnya tidak terlalu berbeda jauh dari pH awal. Nilai pH pada reaktor cacing *Lumbricus sp.* berada pada range 7,64 hingga 8,41, nilai pH tersebut masih dalam nilai pH yang dibutuhkan oleh cacing yaitu 7,5-9.

Tabel 2. Nilai pH air pada reaktor cacing *Lumbricus sp.*

Waktu (hari)	Rasio cacing:lumpur		
	0.4	0.6	0.8
0	8.41	8.36	8.33
1	8.39	8.31	8.28
2	7.98	7.86	7.91
3	7.99	7.93	7.82
4	8.20	8.27	8.25
5	8.15	8.02	7.64
6	8.01	8.05	7.99
7	8.37	8.33	8.38

pH kompartemen air cenderung turun meskipun tidak signifikan. Penurunan pH yang terjadi pada reaktor karena adanya pembentukan CO₂ dari proses respirasi cacing. Pada umumnya perubahan pH dipengaruhi oleh suhu, oksigen terlarut, respirasi dan metabolisme organisme (Rukminasari dkk, 2014 ; Wetzel, 2001).

Pada analisis suhu, data menunjukkan nilai yang cenderung stabil selama penelitian berlangsung yaitu berkisar antara 28,5-30,5 °C (Table 3). Fluktuasi suhu yang terjadi pada penelitian ini merupakan dampak dari perubahan suhu ruangan. Rata-rata suhu tertinggi dalam reaktor adalah 30°C sehingga akan mempengaruhi kerja cacing dalam mereduksi lumpur. Suhu optimum yang mendukung kehidupan cacing yaitu antara 20-25°C, suhu yang lebih tinggi dari suhu optimum dapat menghambat pertumbuhan cacing (Zhang *et al*, 2012).

Tabel 3. Suhu pada reaktor cacing *Lumbriculus sp.*

Waktu (hari)	Suhu air (°C) tiap rasio cacing:lumpur		
	0.4	0.6	0.8
0	30	30	30
1	30	30	30
2	30	30	30.5
3	29	29	29.5
4	30	29.5	30
5	30	30	30
6	29	29	28.5
7	30	30	30

Kisaran suhu yang menjadi tinggi disebabkan oleh tingginya intensitas cahaya matahari, sehingga suhu ruangan menjadi naik dan mempengaruhi suhu dalam reaktor. Peningkatan suhu mengakibatkan penurunan kelarutan gas-gas di perairan seperti O₂, CO₂, N₂ dan CH₄. Peningkatan suhu juga menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air yang mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen (Efendi, 2003).

Tabel 4. Kadar DO pada reaktor cacing *Lumbriculus sp.*

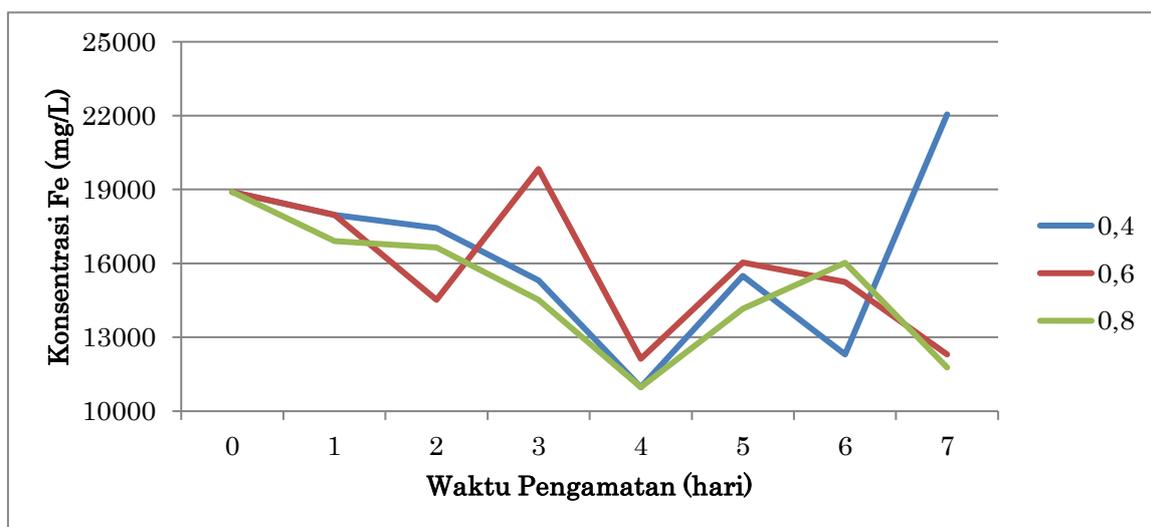
Waktu (hari)	DO air (mg/L) tiap rasio cacing:lumpur		
	0.4	0.6	0.8
0	3.56	3.51	3.53
1	3.38	3.39	3.37
2	3.37	3.36	3.35
3	3.34	3.32	3.31
4	3.1	3.17	3.17
5	3.18	3.18	3.22
6	3.26	3.28	3.28
7	3.29	3.31	3.33

Pada Tabel 4 menunjukkan kadar oksigen terlarut pada cacing *Lumbriculus sp.* paling kecil yaitu 3,1 mg/L dan terbesar adalah 3,56 mg/L. Nilai oksigen hasil analisis pada reaktor cacing

Lumbriculus sp. juga masih dalam keadaan yang sesuai untuk proses metabolisme cacing, yang mana menurut Cahyo dkk (2015) pada konsentrasi DO 2,04 - 3,56 mg/L cacing *Lumbriculus sp.* mampu bertahan hidup.

3.2 Analisis Kandungan Fe

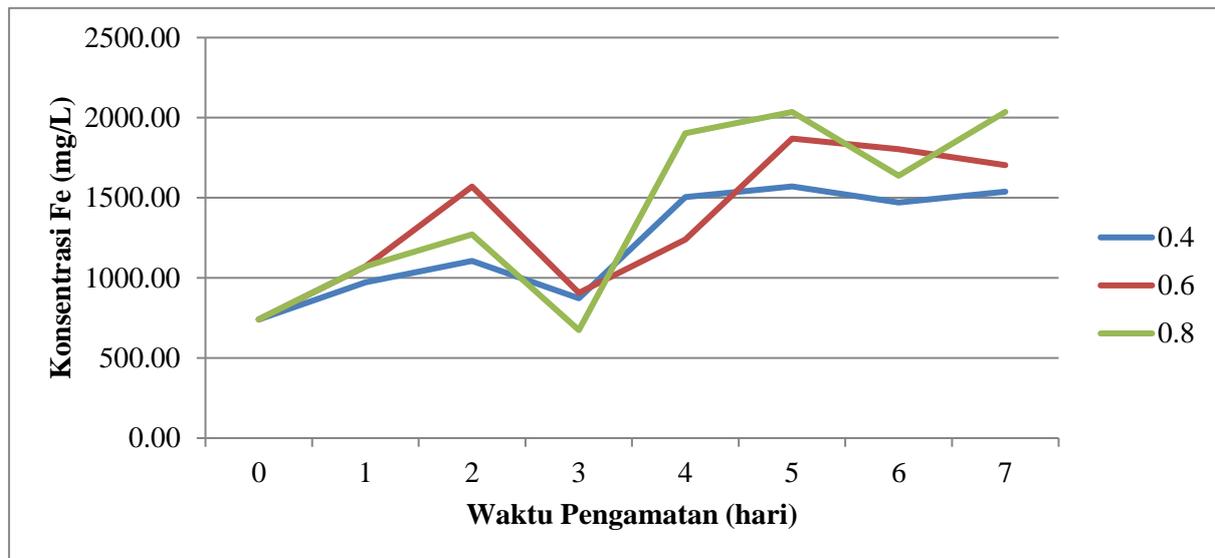
Kadar awal konsentrasi Fe pada perlakuan kontrol lumpur adalah 18.902,8 mg/kg. Penambahan cacing akuatik pada reaktor biologis berpengaruh pada penurunan Fe dalam mengolah lumpur limbah. Grafik penurunan kadar Fe pada lumpur dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Konsentrasi Fe pada lumpur reaktor cacing *Lumbriculus sp.*

Trendline yang terbentuk pada grafik (Gambar 4) menunjukkan penurunan nilai kandungan Fe pada lumpur. Pada rasio 0,4 terjadi penurunan hingga hari ke 6 yaitu sebesar 13.629,1 mg/kg, namun pada hari ke 7 peningkatan konsentrasi hingga konsentrasi sebesar 22.051 mg/kg. Peningkatan yang terjadi pada hari ketujuh dapat disebabkan feses dari cacing tidak jatuh di kompartemen air sehingga terjadi peningkatan Fe pada lumpur. Rata-rata penurunan konsentrasi Fe sebesar 13,89%. Pada rasio 0,6 dan 0,8, konsentrasi Fe turun menjadi 12.832,1 mg/kg dan 11.769,4 mg/kg, dimana masing-masing persentase penurunan konsentrasi perhari adalah 15,44% dan 21,87%. Masuknya logam berat ke dalam tubuh organisme perairan ada tiga cara yaitu melalui makanan, insang dan difusi melalui permukaan kulit (Sahetapy dalam Widiastuti dkk, 2018). Fluktuasi dalam penurunan Fe pada lumpur disebabkan oleh kemampuan cacing dalam mengkonsumsi logam tiap harinya. Peningkatan dan penurunan konsentrasi logam dapat dikaitkan dengan adanya konsumsi lumpur oleh cacing dan adanya logam yang dikeluarkan oleh cacing (Zhang *et al.* 2012).

Fe merupakan unsur mikronutrien pada cacing. Fe dibutuhkan dalam menghasilkan energi, enzim memanfaatkan Fe pada proses metabolisme selain itu Fe digunakan sebagai transportasi elektron (Palar, 2012). Proses metabolisme atau bio-transformasi yang terjadi dalam tubuh organisme hidup dikenal dengan proses fisiologis. Proses fisiologi disetiap biota akan mempengaruhi akumulasi logam dalam tubuh biota perairan. Besar kecilnya jumlah logam dalam sedimen dipengaruhi pula oleh proses fisiologi dari biota. Adapun kenaikan nilai Fe pada cacing *Lumbriculus sp.* akibat akumulasi pada tubuhnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Konsentrasi Fe pada cacing *Lumbriculus sp.*

Cacing dengan rasio 0,4 dapat mengakumulasi Fe dalam tubuhnya hingga 1570,8 mg/kg hal tersebut dapat dilihat pada hari ke 5 peningkatan konsentrasi rata-rata sebesar 74,31% atau sebesar 55.032,64 mg/kg. Pada hari ke 6 dan ke 7, *Lumbriculus sp.* menyerap Fe lebih sedikit dari hari ke 5. Hal ini dikarenakan fase stationer telah dimulai, dimana cacing tidak dapat mengakumulasi lebih banyak lagi. Fase yang sama terjadi pada rasio 0,6 dimana akumulasi Fe terjadi pada hari ke 5 yakni sebesar 1.869,7 mg/kg dan cacing tidak mampu mengakumulasi Fe pada hari ke 6 dan ke 7. Rata-rata peningkatan konsentrasi yang terjadi pada rasio 0,6 sebesar 96,09% atau sebesar 71.162,9 mg/kg. Pada rasio 0,8 terjadi peningkatan akumulasi maksimum Fe di hari ke 5 yakni sebesar 2035,7 mg/kg. Fase stasioner ditunjukkan pada hari ke 6 dan hari ke 7 dengan jumlah akumulasi yang tidak melebihi dari hari ke 5. Peningkatan konsentrasi pada rasio 0,8 sebesar 105,6% atau sebesar 77.804,77 mg/kg.

Kemampuan cacing dalam mengakumulasi Fe dipengaruhi oleh lingkungan sekitar cacing. Kecukupan pH dan oksigen terlarut mendukung untuk melakukan aktivitas hidup cacing. Nilai pH pada eksperimen tersebut juga masih dalam kondisi netral antara 7,64-8,41 (Tabel 1) dimana selain sesuai untuk hidup cacing, pH netral juga menandakan kondisi logam yang stabil (Palar, 2012). Fe dalam tanah akan larut pada pH 3 sedangkan dalam air Fe mengendap seluruhnya (Gelyaman, 2018), sehingga peningkatan kandungan Fe pada tubuh cacing terjadi akibat dimakannya lumpur yang mengandung Fe.

Menjaga kondisi lingkungan optimum cacing pada suhu 25°C penting dilakukan dalam menunjang proses metabolisme. Pada penelitian Zhang (2012) adanya penurunan tingkat reduksi TSS sebesar $\pm 27\%$ dalam lumpur di suhu 20°C namun tidak banyak pengurangan pada logam Cu, Zn, dan Pb yang terkandung dalam lumpur. Pada penelitian ini diperkirakan suhu yang mencapai 30°C berpengaruh pada metabolisme cacing sehingga berdampak pada penurunan reduksi Fe dalam lumpur oleh *Lumbricullus sp.* Kemampuan maksimum cacing dalam akumulasi logam juga mempengaruhi penurunan Fe pada lumpur. Nilai maksimum akumulasi logam ditunjukkan dari fase stationer Fe dalam cacing.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis penurunan logam Fe pada lumpur sisa pengolahan limbah oleh cacing akuatik *Lumbriculus sp.* Hasil menunjukkan logam Fe mengalami penurunan pada hari ke 7 sebesar 15,44%, pada rasio 0,6 dan 21,87%, pada rasio 0,8. Rasio 0,4 terjadi penurunan 21,09% pada hari ke 6. Penurunan kandungan logam pada lumpur diikuti dengan kenaikan kandungan logam pada tubuh cacing *Lumbriculus sp.*

DAFTAR PUSTAKA

- Anjasari, N dan Sugiarto, R.D. (2015). Analisa gangguan ion merkuri (II) terhadap kompleks besi (II)-fenantrolin menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4 (2) : 2337-3520.
- APHA, AWWA and WEF. (2005). Standart methods for the eximination of water and wastewater, 21st ed. Washington, D.C. : American public health association, Washington, D.C.
- Buyts, B., Klapwijk, A., Elissen, H and Rulkens, W.H. (2008). Development of a test method to assess the sludge reduction potential of aquatic organisms in activated sludge. *Bioresource Technology*, 99 : 8360-8366.

- Efendi, H. (2003). Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. Yogyakarta: Kanisius.
- Elissen, H.J.H., Mulder, W.J., Hendrickx, T.L.G., Elbersen, H.W., Beelen, B., Temmink, H and Buisman, C.J.N., (2010). Aquatic worms grown on biosolids: biomass composition and potential applications. *Bioresour. Technol*, 101 (2) : 804–811.
- Gelyaman, G. D. (2018). Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Bioavailabilitas Besi bagi Tumbuhan. *Jurnal Siantek Lahan Kering*, 1 (1) : 14-16.
- Karlsson, M.V. (2013). Uptake of pharmaceuyicals and personal care products from sediments into aquatic organism [Thesis]. Doctor of Philosophi, University of York.
- Lestari, D.R. dan Yudihanto,G. (2013). Pengolahan lumpur tinja pada *sludge drying bed* IPLT Keputih menjadi bahan bakar alternatif dengan metode *biodrying*. *Jurnal Teknik Pomits*, 2 (2) : 133-137
- Lou, J., Cao, Y., Sun, P and Zheng, P. (2013). The effects of operational conditions on the respiration rate of Tubificidae. *Plos One*, 8 (12) : 1-9.
- Palar, H. (2012). Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta : Reka Cipta.
- Rukminasari, N., Ndiarti, dan Awaluddin, K. (2014). Pengaruh derajat keasaman (pH) air laut terhadap konsentrasi kalsium dan laju pertumbuhan *Halimeda sp. Torani* (*Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*), 24 (1): 28-34.
- Sanin, F.D., William, W., Clarkson, P and Vesilind, A. (2011). Sludge Engineering: The Treatment and Disposal of Wastewater Sludges. Pennsylvania : DEStech Publication, Inc.
- Wei, Y., Zhu, H., Wang, Y., Li, J., Zhang P., Hu J and Liu^a J. (2008). Nutrients release and phosphorus distribution during oligochaetes predation on activated sludge. *Biochemical engineering journal*, 43 : 239-245.
- Wetzel, R.G. (2001). Limnology Lake and River Ecosystem Third Edition. Sydney : Academic Press.
- Widiastuti, I., M., Maizar, A., Musa dan Arfiati, D. (2018). Konsentrasi timbal (Pb) dalam Air, sedimen, dan Tubifex sp. pada perairan tercemar logam. *Jurnal Ilmu Perikanan*, 9 (1): 23-30.
- Zhang, X., Tian, Y., Wang, Q., Chen, L and Wang, X. (2012). Heavy metal distribution and speciation during sludge reduction using aquatic worms. *Bioresource Technology* , 126: 41-47.