

## ABSTRAK

### PERBANDINGAN TINGKAT REDUKSI LUMPUR LIMBAH DENGAN MENGGUNAKAN CACING AKUATIK *Tubifex sp.* DAN *Lumbriculus sp.*

Nama mahasiswa : Rifda Rahman  
NRP : 3310 100 069  
Pembimbing : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.  
Co-pembimbing : Alfian Purnomo ST., M.T.

Lumpur hasil pengolahan air limbah memiliki kandungan bakteri patogen, sehingga diperlukan penanganan lebih lanjut yang menelan biaya hingga 60% dari total biaya operasional IPAL. Dibutuhkan alternatif pengolahan agar volume lumpur yang harus diolah dapat diminimalisasi. Diidentifikasi golongan *Oligochaeta* memiliki kemampuan dalam mereduksi lumpur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat reduksi lumpur yang dapat dilakukan oleh cacing akuatik golongan *Oligochaeta*, *Tubifex sp.* dan *Lumbriculus sp.* menggunakan parameter TSS dan COD.

Penelitian dilakukan skala laboratorium dengan reaktor cacing sistem *batch*. Lumpur yang digunakan berasal dari unit bangunan *sludge drying bed outlet* pipa lumpur bak pengendap II (*secondary sludge*). Lumpur yang diamati dimasukkan dalam reaktor dan ditambahkan cacing akuatik sesuai penggunaan variasi. Rasio perbandingan antara *worm:sludge* dan jenis cacing digunakan sebagai variasi dalam penelitian ini.

Berdasarkan penelitian yang telah didapatkan hasil bahwa reaktor cacing memiliki kemampuan mereduksi TSS hampir dua kali lipat lebih tinggi dibandingkan reaktor tanpa cacing. Reduksi tertinggi berada pada rasio perbandingan w/s 0,4. Reduksi tersebut dikarenakan cacing memanfaatkan kandungan organik pada lumpur sebagai sumber nutrisi. Disisi lain terjadi peningkatan kandungan organik pada reaktor cacing Hal tersebut dikarenakan pemisahan antara fases dan lumpur tidak terjadi secara sempurna.

**Kata kunci:** Cacing akuatik, COD, Reduksi lumpur, TSS.

**“Halaman ini sengaja di kosongkan”**

## ABSTRACT

### COMPARISON OF WASTEWATER SLUDGE REDUCTION USING AQUATIC WORM *Tubifex sp.* AND *Lumbriculus sp.*

Student name : Rifda Rahman  
Student number : 3310 100 069  
Lecture 1 : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.  
Lecture 2 : Alfian Purnomo ST., M.T.

In general, sludge from wastewater treatment still contains pathogens, so that require further treatment which spent cost up to 60% of total operating WWTP costs. Treatment alternatives are needed in order to minimize the volume of sludge which processed. Some studies said that class of Oligochaeta natural predators have ability to reduce sludge. This research aims to determine the level of sludge reduction that can be performed by an aquatic worm Oligochaeta class with *Tubifex sp.* and *Lumbriculus sp.* using TSS and COD parameters.

The research was conducted in a laboratory-scale batch reactor worms system. Sludge used is sludge in sludge drying bed unit derived from the settling basin outlet pipe mud II (secondary sludge). The sludge that observed, inserted in the reactor and added appropriate variations of aquatic worms. The ratio of the worms: sludge (w/s) and worms are used as a variation in this research.

The research result showed that the worm has the ability to reduce the TSS is almost twice higher than the reactor without worms. The highest reduction capabilities are in the ratio w/s 0,4. The reduction occur because the worms exploit the organic content which contained in the sludge as a source of nutrients for themselves. However, an increase in the organic content in the reactor worms and this condition occur because the separation between feces and the sludge happened with imperfect.

**Keyword : Aquatic worm, COD, Sludge reduction, TSS.**

**“Halaman ini sengaja di kosongkan”**

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran umum lumpur**

Lumpur baik berupa *solid* atau *biosolid* merupakan padatan yang harus dihilangkan dalam pengolahan air limbah. Penggunaan jenis pengolahan air limbah menentukan lumpur yang akan dihasilkan. Biasanya pengolahan air limbah secara biologis akan menghasilkan lumpur biologis yang disebut dengan *biosolid* dan mengandung bakteri, bahan organik, anorganik, fosfor dan senyawa nitrogen serta beberapa jenis polutan seperti logam berat, polutan organik dan patogen (Elissen *et al.* 2010). Secara fisik umumnya lumpur berbentuk liquid atau semisolid liquid dengan tipikal kandungan lumpur 0,25– 12% berat solid (Metcalf dan Eddy, 2003).

#### **2.2 Karakteristik lumpur**

Dalam melakukan pengolahan lumpur, karakteristik diperlukan untuk mengetahui kandung-kandungan yang terdapat dalam lumpur. Pada dasarnya karakteristik lumpur dibagi menjadi 3 fisik, kimia, dan juga biologis. Menurut Sanin *et al.* (2011) berikut adalah ciri dari karakteristik lumpur masing-masing:

##### **2.2.1 Karakteristik fisik**

###### **a. Spesific Gravity (Sg)**

Spesific gravity adalah rasio perbandingan antara berat jenis lumpur dengan berat jenis air. Kebanyakan lumpur mempunyai *specific gravity* sekitar 1.0 namun jika semakin besar Sg maka semakin mudah dalam proses pengendapannya.

###### **b. Konsentrasi Padatan**

Konsentrasi padatan penting untuk diketahui karena merupakan tolok ukur keberhasilan pengolahan lumpur. Definisi padatan atau yang dikenal dengan total *solid* merupakan residu pada proses penguapan dengan suhu 103°C. Total *solid* dapat dibagi menjadi 2 fraksi yaitu padatan terlarut (TDS) dan padatan tersuspensi (TSS).

c. Kemampuan Pengendapan lumpur

Kemampuan Pengendapan (*settleability*) lumpur dapat diuji dengan dua cara yaitu dengan pengukuran kecepatan zona pengendapan dan sludge volume index (SVI). SVI merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan lumpur untuk menjadi lebih kental. SVI yang baik biasanya ada pada kisaran 80-120.

d. Ukuran dan bentuk flok/partikel

Flok dapat berbentuk bulat, lonjong, atau pipih. Ukuran flok dipengaruhi oleh faktor antara lain jenis mikroorganisme, agitasi, konsentrasi oksigen terlarut, umur lumpur, dan karakteristik substrat.

e. Distribusi air

Air pada lumpur dapat dibedakan menjadi beberapa macam diantaranya *Free (bulk) water*, yaitu air yang tidak terpengaruh dan tidak berkaitan dengan padatan tersuspensi. *Interstitial water* sendiri adalah air yang terjebak di sela-sela mikroorganisme atau flok. Jenis air ini dapat menjadi free water apabila flok atau mikroorganisme yang berada di sekelilingnya dihancurkan. *Vicinal water*, yaitu lapisan-lapisan molekul air yang melekat kuat pada permukaan partikel akibat adanya ikatan hidrogen. Berbeda dengan *interstitial water* dan *vicinal water* tidak dapat bebas bergerak melainkan melekat pada permukaan padatan. Dibanding dengan *bulk water*, *vicinal water* memiliki densitas yang lebih rendah serta viskositas yang lebih tinggi. *Water of hydration*, yaitu air yang terikat secara kimia pada partikel dan hanya bisa dihilangkan dengan menggunakan energi termal.

f. Filterability dan Dewaterability

Kedua istilah tersebut menyatakan seberapa mudah lumpur dapat terpisah dengan air. Apabila kedua nilai parameter tersebut tinggi, artinya lumpur mudah untuk *di-dewater* yang dapat diukur dengan metode *Specific Resistance to Filtration* (SRF) dan *Capillary Suction Time* (CST).

g. Struktur dan porositas flok

Flok yang terdapat pada lumpur aktif tersusun dari tiga komponen yaitu mikroorganisme, polimer ekstraseluler, dan air. Struktur flok dipenuhi oleh saluran-saluran kecil serta rongga pori sehingga memungkinkan air untuk masuk ke dalam flok.

### 2.2.2 Karakteristik kimia

1. Nutrien

Kebanyakan lumpur mengandung N dan P yang tidak bisa dimanfaatkan secara langsung sehingga kandungan tersebut harus dikonversi menjadi ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) dan nitrat nitrogen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ). banyak kandungan fosfor dalam lumpur bergantung pada pengolahan limbah. Misalnya pada pengolahan limbah yang diolah secara kimiawi untuk menyisihkan fosfor, maka kandungan fosfor dalam lumpur menjadi sangat banyak.

2. Logam Berat dan organik toksik

Keberadaan logam berat dalam lumpur limbah kebanyakan bergantung pada sumbernya, lumpur dapat mengandung bermacam logam termasuk logam berat.

### 2.2.3 Karakteristik biologi

Mikroba yang terdapat dalam lumpur limbah antara lain seperti bakteri, protozoa, jamur, virus, dan organism tingkat tinggi seperti crustacea dan rotifers. Pertumbuhan mikroorganisme ini tergantung dan terjadi selama proses pengolahan biologis pada air limbah.

## 2.3 Jenis lumpur

Menurut Turovskiy dan Mathai (2006), pada dasarnya lumpur dapat digolongkan sesuai dengan asal proses pengolahannya. Secara garis besar lumpur dari pengolahan dapat digolongkan menjadi *primary sludge*, *secondary sludge*, *chemical sludge*, dan residu lainnya.

### 2.3.1 Lumpur Primer (*primary sludge*)

Dalam instalasi pengolahan air limbah penggunaan proses fisik (bak pengendap) bertujuan untuk menghilangkan partikel *solid* dari air limbah, sehingga dari proses tersebut dihasilkanlah lumpur yang disebut *primary sludge*. pada tahap ini berat kering dari lumpur hasil adalah 50% dari lumpur total dengan konsentrasi padatan antara 2-7%. Kandungan partikel diskrit yang terdapat pada *primary sludge* membuat lumpur ini lebih cepat mengering dibandingkan dengan *secondary sludge* dan *Chemical sludge*. diperoleh padatan dengan kebutuhan proses *conditioning* yang lebih rendah. Apabila tidak dilakukan pengolahan pada *primary sludge* akan menimbulkan bau dan busuk.

### 2.3.2 Lumpur Sekunder (*secondary sludge*)

Dalam instalasi pengolahan air limbah penggunaan proses biologis (*activated sludge*, *trickling filter* dan *rotating biological contactor*) dapat menghasilkan lumpur yang disebut *secondary sludge*. Lumpur biologis biasanya mengandung bakteri yang telah mengkonsumsi bahan organik dalam proses pengolahan biologis dan padatan yang tidak dapat dihilangkan pada pengolahan fisik dengan konsentrasi padatan 0,4-1,5%. Lumpur biologis lebih sulit mengendap dan dikeringkan karena flok yang terdapat dalam lumpur biologis ringan sehingga sulit terpisah.

### 2.3.3 Lumpur Kimia (*Chemical sludge*)

Penggunaan bahan kimia pada proses pengolahan limbah akan menghasilkan lumpur yang disecut dengan *chemical sludge*. Biasaya pada instalasi pengolahan limbah digunakan *tertiary clarifier* atau *tertiary filter* untuk menghilangkan endapan kimia.

### 2.3.4 Residu Lainnya

Disisi lain dalam pengolahan air limbah juga dihasilkan residu lainnya berupa partikel *grit* dan *scum*. *Grit* adalah material berat dan kasar seperti pasir dan bahan inorganik lain. *Scum* adalah hasil dari proses *skimming* pada bak pengendap yang

mengandung minyak dan lemak. Sedangkan *scum* dari bak pengendap kedua berupa biofilm (tergantung pada jenis pengolahan biologis yang digunakan).

## 2.4 Pengolahan lumpur

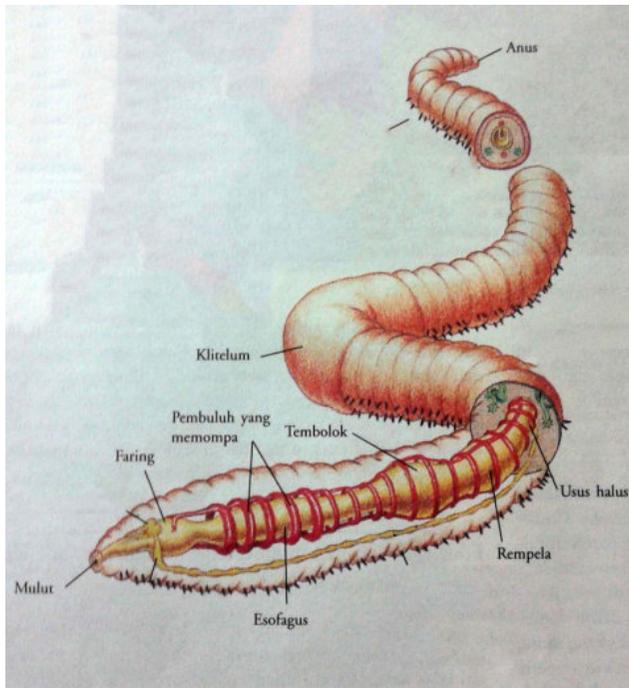
Tidak dapat dipungkiri bahwa pengolahan lumpur sangat dibutuhkan karena menurut Elissen *et al.*, (2010) dan Wei *et al.*,(2009) lumpur hasil pengolahan limbah berpotensi mengandung bakteri pathogen. Sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan (Basim *et al.*, 2012). Menurut Kardena, (2011) menyebutkan Pada umumnya dalam pengolahan lumpur digunakan tiga cara antara lain:

1. Thickener adalah unit pengental lumpur Dengan desain berdasarkan kriteria solid flux (G) dan waktu detensi. Dalam unit thickener umumnya menerima influent dengan kadar solid 1% dan mengeluarkan lumpur dengan kadar solid 4%.
2. Digester atau Stabilisasi di desain mengikuti cara-cara desain untuk unit proses biologi dalam IPAL dengan tujuan untuk menurunkan BOD dan COD dalam lumpur.
3. Dewatering Unit merupakan alat yang sesuai dengan kondisi timbulan lumpur dan kadar solid cake (20%-30%).

## 2.5 Cacing akuatik

Cacing merupakan golongan Phylum Annelida yang terbagi atas beberapa kelas, ordo, dan family (Jasin, 1992). Salah satu kelas golongan Phylum Annelida adalah *oligochaeta*, merupakan predator alamiah yang diidentifikasi memiliki kemampuan dalam mereduksi lumpur (Buys *et al.*,2008). Ciri fisik dari *oligochaeta*, segmen tubuh dalam dan luar menyatu, tidak memiliki kepala dan menghasilkan larva pada darat ataupun air namun terdapat citelum yang menghasilkan cocon untuk membungkus telur (Jasin, 1992). Makanan dari jenis cacing ini adalah komponen organik yang dapat diperoleh dari lumpur atau

daerah danau (Pennak, 1991). Makanan yang diperoleh kemudian masuk melalui mulut, faring, esofagus, tembolok, ampela, usus halus, dan kemudian di keluarkan melalui anus. Menurut Pennak (1991), terdapat beberapa golongan family *oligochaeta* yang berhabitat di perairan yakni Aeolosomatidae, Naididae dan Tubificidae sedangkan Lumbriculidae merupakan cacing semi akuatik. Golongan cacing ini memiliki alat gerak yang disebut dengan setae dan biasanya bergerak dengan cara berenang. Gambar 2.1 akan menjelaskan masing-masing anatomi dari golongan *oligochaeta*. Diantara berbagai jenis cacing akuatik golongan *oligochaeta* terdapat cacing sutra (*Tubifex sp*) dan cacing lumpur (*Lumbriculus sp.*) yang dapat dengan mudah ditemukan di sungai dan berikut adalah penjelasan untuk masing-masing cacing tersebut.



**Gambar 2.1 Anatomi cacing golongan *oligochaeta*.**

Sumber : Campbell *et al.*, (2004).

### 2.5.1 *Tubifex sp.*

Menurut Yulianingsih *et al.*, (2012), *Tubifex sp.* atau yang lebih dikenal dengan nama cacing sutra dalam taksonomi hewan memiliki klasifikasi sebagai berikut:

- Phylum : Annelida
- Kelas : Oligochaeta
- Ordo : Haplotaxida
- Famili : Tubificidae
- Genus : *Tubifex*
- Spesies : *Tubifex sp.*

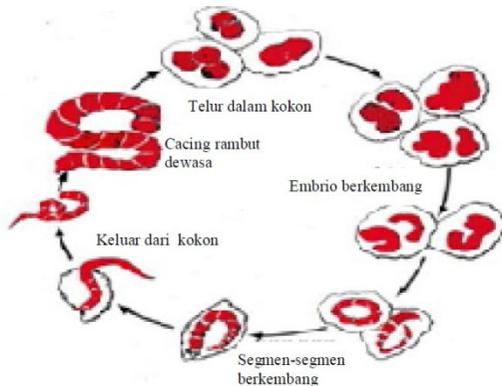
Secara kasat mata anatomi *Tubifex sp.* ini mudah dikenali dari bentuk tubuhnya yang seperti benang sutra dan berwarna merah kecoklatan karena mengandung haemoglobin. Cacing ini juga memiliki panjang tubuh 1–2 cm yang terdiri dari 30–60 segmen atau ruas dengan bentuk cacing yang akan dijelaskan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2 *Tubifex sp.***

Dalam melakukan perkembangbiakan dibutuhkan media yang mempunyai kandungan oksigen terlarut berkisar antara 2–5 mg/L, suhu air berkisar antara 26–30°C dan pH air antara 6–8. Umumnya habitat cacing sutra berada pada kubangan lumpur dangkal dengan aliran perlahan dan mengandung bahan organik. Membenamkan kepala merupakan kebiasaan *Tubifex sp.* ini

untuk mencari makan, sementara itu ekornya yang mengarah ke permukaan air berfungsi untuk bernafas. Cacing sutra (*Tubifex sp*) ini bersifat hermaphrodit atau berkelamin ganda, yakni kelamin jantan dan betina menyatu dalam satu tubuh sehingga, proses perkembangbiakan membutuhkan waktu yang relatif singkat. Biasanya cacing ini selalu berkumpul membentuk koloni yang sulit diurai dan saling berkaitan satu sama lain (Khairuman *et al.*, 2008). Dijelaskan pula pada Elissen (2007), dibutuhkan waktu selama 20-62 hari lamanya untuk siklus hidup cacing *Tubifex sp.* dengan siklus hidup yang akan dijelaskan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Siklus hidup cacing akuatik *Tubifex sp.*

### 2.5.2 *Lumbriculus sp.*

Menurut Drewes dan Brinkhurst (1990), *Lumbriculus sp.* atau yang memiliki nama umum dengan nama cacing lumpur, atau cacing hitam dalam taksonomi hewan memiliki klasifikasi sebagai berikut:

- Phylum : Annelida
- Kelas : Oligochaeta
- Ordo : Lumbriculida
- Famili : Lumbriculidae
- Genus : *Lumbriculus*
- Spesies : *Lumbriculus sp.*



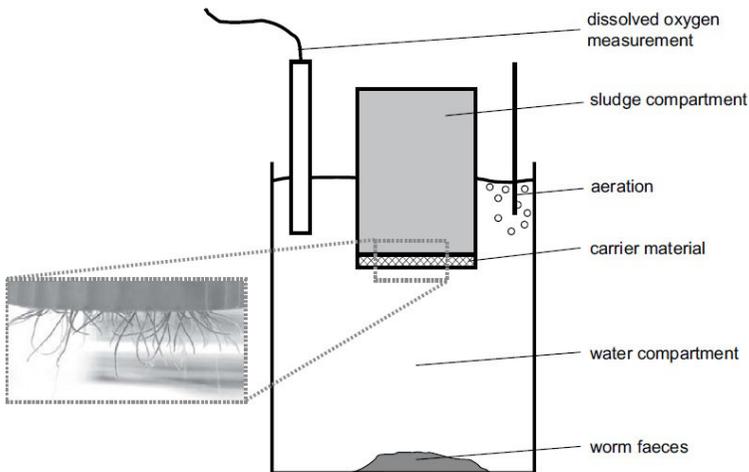
**Gambar 2.4** *Lumbriculus sp.*

*Lumbriculus sp.* memiliki panjang ukuran tubuh maksimal adalah sekitar 10 cm dan jumlah segmen sekitar 200-250 ruas yang berukuran 1,5 mm. Spesimen cacing ini muncul sebagai dewasa secara seksual hermafrodit. Sama halnya dengan kelompok *Oligochaeta* lain seperti *tubificids* (*Tubifexworms*) *Lumbriculus sp* senang menempati sedimen yang berlumpur dengan air yang sedikit lebih dalam lebih sering terjadi pada habitat ini. Di alam, *Lumbriculus sp.* menggunakan kepalanya untuk mencari makan dalam sedimen dan puing-puing, sedangkan ujung ekornya, khusus untuk gas pertukaran. Karena hal tersebut *lumbriculus sp.* sering memproyeksikannya ke atas. Bila mungkin kan, cacing ini membenteng ekornya secara vertikal ke permukaan air di mana untuk memfasilitasinya dalam melakukan pertukaran gas.

## 2.6 Reaktor cacing

Menurut Elissen *et al.*, (2006), Hendrickx *et al.*, (2010b), dan Basim *et al.*,(2012) konsep reaktor secara skematik dapat dilihat pada Gambar. 2.5 yang terdiri dari kompartemen *sludge* yang mengandung lumpur dari limbah dan cacing. Terdapat pula wadah yang digunakan sebagai kompartemen air untuk diberikan aerasi dalam reaktor yang sama. Dengan aerasi yang dilakukan pada kompartemen air, cacing akan secara otomatis menempatkan diri mereka dengan posisi mulutnya di atas (dekat dengan lumpur) dan ekor di bawah (mendekati kompartemen air). Oleh karena itu, bahan pembawa ditempatkan pada mulut kompartemen *sludge*

bertindak sebagai lapisan pemisahan antara lumpur dan kotoran cacing yang jatuh di kompartemen air.



**Gambar 2.5 Skematik reaktor cacing**

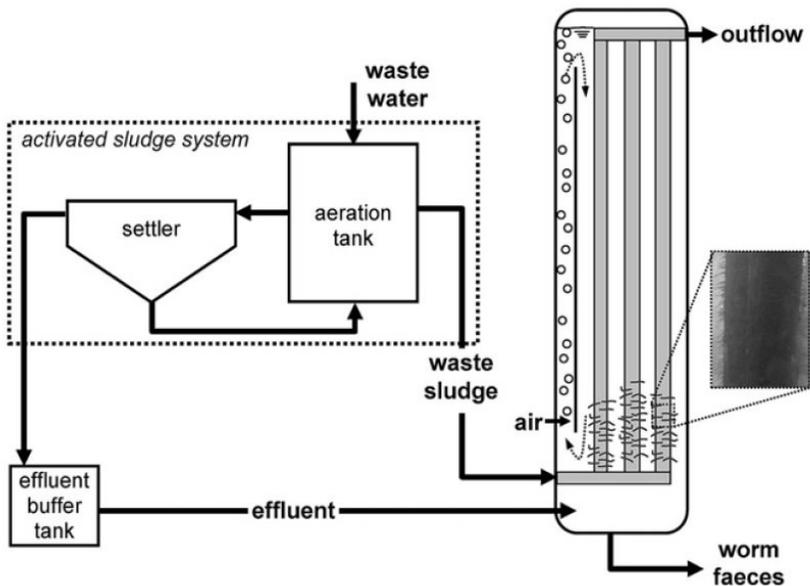
Sumber: Elissen *et al.*, (2006), Hendrickx *et al.*, (2010b), dan Basim *et al.*,(2012)

Pada dasarnya proses reduksi yang terjadi dalam reaktor ini adalah ketika cacing mencerna lumpur, maka oleh cacing tersebut lumpur akan diubah menjadi biomassa dan feses cacing. Lumpur yang telah dirubah menjadi feses dapat lebih cepat dalam mengendap karena di sebutkan pada penelitian sebelumnya nilai SVI lumpur semakin meningkat. Selain itu reduksi lumpur juga dapat terjadi karena adanya penambahan aerasi yang dapat menyebabkan proses endogenus. Reaktor ini menggunakan prinsip *batch* karena dirasa lebih presisi dalam menghitung jumlah lumpur yang dapat direduksi dibandingkan dengan sistem tercampur.

Terdapat pula 4 faktor yang dapat mempengaruhi proses dalam reaktor diantaranya jenis lumpur yang menentukan laju konsumsi lumpur yang dapat dilakukan oleh cacing. Faktor ke dua adalah rasio perbandingan *worm:sludge* karena densitas cacing

yang terlalu tinggi akan mempengaruhi laju reduksi lumpur akibat banyaknya kompetitor dalam proses reduksi. Material pembawa merupakan faktor ke tiga, karena bertugas menahan cacing dalam kompartemen lumpur dan faktor ke empat adalah *specific oxygen uptake rate*.

Terdapat pula reaktor cacing dengan menggunakan prinsip *continue* dengan konsep sama halnya penggunaan reaktor dengan sistem batch reaktor dibagi menjadi dua bagian yakni kompartemen lumpur yang dialasi oleh bahan pembawa dan kompartemen air. lumpur dimasukkan dengan cara dipompa ke dalam kompartemen lumpur kemudian dikonsumsi oleh cacing. Kotoran yang dihasilkan dalam reaktor cacing tidak dibiarkan menumpuk karena dikeluarkan melalui overflow (Hendrick et al., 2009b). Menurut Hendrickx *et al.*, (2011), reaktor cacing dengan menggunakan sistem *continue* telah diterapkan pada skala lapangan dengan desain seperti pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6 Reaktor cacing dalam skala besar**

Sumber: Hendrickx *et al.*, (2011)

## 2.7 Total Suspended Solid (TSS)

Suspended solid dapat membentuk endapan lumpur dan kondisi anaerob jika masuk ke dalam lingkungan akuatik, Suspended solid juga menyebabkan kekeruhan dalam air limbah (Robert, 2004). Larutan menjadi keruh apabila terjadi pengendapan yang merupakan keadaan kejenuhan dari suatu senyawa kimia. Partikel-partikel tersuspensi mempunyai ukuran yang lebih besar dari partikel koloid dan dapat menghalangi sinar yang akan menembus suspensi, sehingga suspensi tidak bisa dikatakan keruh (Alaerts dan Sumestri, 1987). Dalam metoda analisis zat padat, pengertian zat padat total adalah semua zat-zat yang tersisa sebagai residu dalam suatu bejana bila sampel air dalam bejana tersebut dikeringkan pada suhu tertentu (Alaerts dan Sumestri, 1984).

## 2.8 Chemical Oxygen Demand (COD)

Nilai COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Effendi, 2003). pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Fardias, 1992). Pada prosedur penentuan COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi sampel (Effendi, 2003). Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan bahwa hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dengan bantuan oksidator kuat (kalium dikromat) dalam suasana asam. Meskipun demikian terdapat juga bahan organik yang tidak dapat dioksidasi dengan metode ini, misaknya bahan organik yang bersifat mudah menguap (*volatile*).

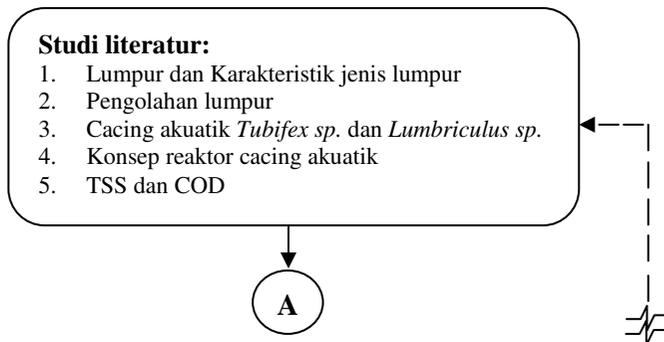
## BAB 3 METODA PENELITIAN

### 3.1 Kerangka penelitian

Metodologi penelitian merupakan acuan dalam melaksanakan penelitian, yang disusun berdasarkan pada pemikiran akan adanya permasalahan dalam ide guna mencapai tujuan penelitian. Penyusunan kerangka penelitian dimaksudkan untuk mengetahui segala sesuatu yang berhubungan dengan pelaksanaan tugas akhir. Kerangka penelitian ini disusun dengan tujuan:

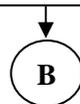
1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan-tahapan penelitian secara terstruktur agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi sistematis.
2. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian, dengan adanya kerangka penelitian secara sistematis yang digunakan dari awal penelitian sampai penulisan laporan tugas akhir.
3. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan penelitian.
4. Memperkecil dan menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan selama melakukan penelitian.

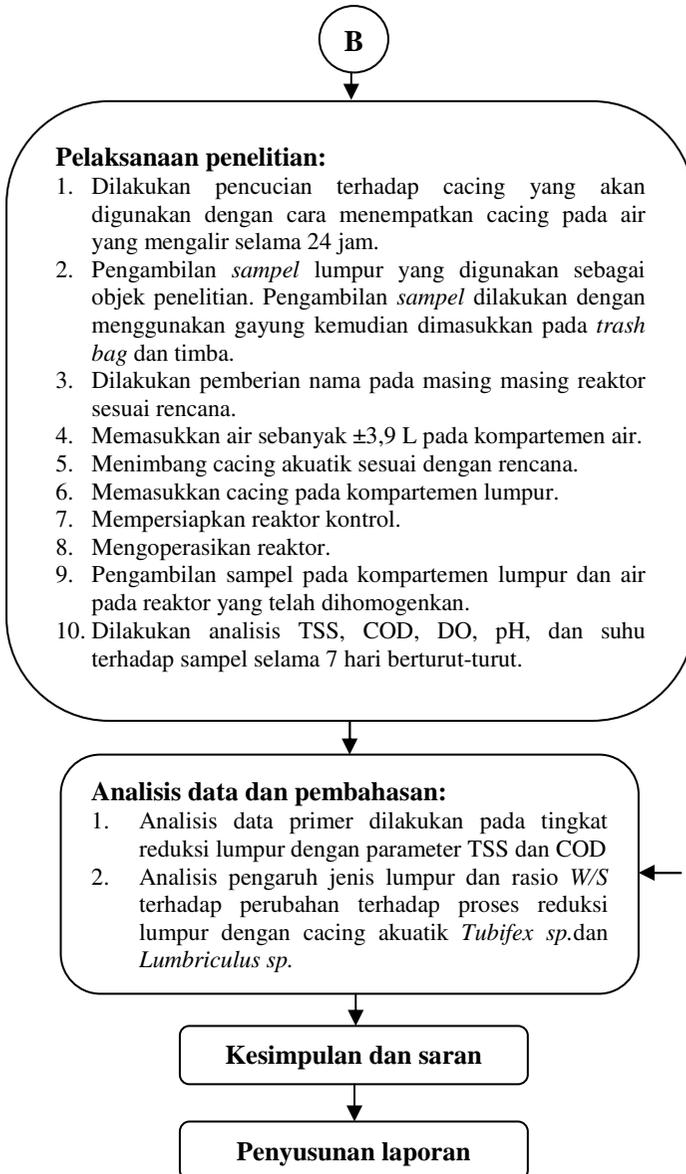
Dalam penelitian ini akan dianalisis pengaruh penambahan cacing akuatik terhadap reduksi lumpur dengan menggunakan parameter TSS dan COD. Kerangka penelitian dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



**Persiapan penelitian:**

1. Perijanaan lapangan dan laboratorium.
2. Penelitian pendahuluan.
  - a. Analisis kandungan kadar air  
Analisis dilakukan pada lumpur dan masing-masing cacing akuatik. Pengukuran kandungan kadar air *sampel* dilakukan dengan cara gravimetri yakni mengeringkan *sampel* hingga mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai 105°C.
  - b. Penentuan volume lumpur.  
Merencanakan berat cacing yang digunakan kemudian dilakukan perhitungan sesuai dengan kandungan kadar air.
  - c. Analisis kesesuaian penggunaan rasio W/S.  
Langkah yang dilakukan pada tahapan ini yakni dengan pemberian lumpur setiap hari untuk dimakan oleh cacing yang telah dibersihkan. Dilakukan pengamatan terhadap penurunan lumpur yang terjadi selama 3 hari. Pemberian lumpur pada cacing dilakukan dengan menggunakan rasio w/s terbesar.
2. Metode dan prosedur analisis.
  - a. Analisis yang dilakukan adalah analisis TSS, COD, DO, pH, dan suhu
  - b. Pesiapan alat dan bahan analisis
  - c. Pembuatan reagen
3. Persiapan alat dan bahan
  - a. Merencanakan dimensi reaktor
  - b. Mempersiapkan kebutuhan reaktor (Kaca, besi, lem, bahan pembawa, aerator, dsb)
  - c. Merangkai reaktor
  - d. Melakukan uji coba pada reaktor
  - e. Reaktor siap untuk diugunakan





**Gambar 3.1 Kerangka penelitian**

## 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini berisi tentang langkah-langkah yang akan dilakukan selama pelaksanaan penelitian. Lingkup tahapan penelitian meliputi ide penelitian, studi literatur, persiapan penelitian, pelaksanaan penelitian, analisis data dan pembahasan, dan kesimpulan.

### 3.2.1 Ide Tugas Akhir

Ide tugas akhir ini adalah perbandingan tingkat reduksi lumpur dengan menggunakan cacing akuatik *Tubifex sp.* dan *Lumbriculus sp.* Berlatar belakang dari besarnya biaya yang harus dikeluarkan dalam melakukan pengolahan lumpur sehingga dibutuhkan alternatif guna menangani hal tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan peluang yang ada (biologis) sebagai alternatif pengolahan lumpur. Disebutkan dalam Buys *et al.*, (2008) cacing air golongan *oligochaeta* dan *lumbriculidae* merupakan predator alamiah yang diidentifikasi memiliki kemampuan dalam mereduksi lumpur. Menurut Yulianingsih (2012), dalam taksonomi kerajaan hewan cacing sutra (*Tubifex sp.*) merupakan predator alamiah yang tergolong dalam kelas *Oligochaeta* begitu pula dengan cacing *Lumbriculus sp.* yang tergolong dalam family *lumbriculidae*.

### 3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan selama proses penelitian, mulai dari awal hingga akhir penulisan bertujuan untuk menunjang jalannya penelitian serta memperoleh dasar teori yang jelas dan kuat. Sumber literatur yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi buku-buku teks, jurnal penelitian, internet, penelitian pendahuluan dan lain sebagainya. Studi literatur yang digunakan berupa pustaka mengenai karakteristik lumpur, konsep reaktor cacing, cacing akuatik, dan beberapa topik lain guna mendukung penelitian.

### 3.2.3 Persiapan Penelitian

Tahapan ini bertujuan untuk mempersiapkan kebutuhan apa saja yang diperlukan selama penelitian, mulai dari perijinan

sampai dengan alat dan bahan. Persiapan penelitian juga menghasilkan data awal guna mendukung proses penelitian dan berikut adalah tahapan kerja yang dilakukan dalam persiapan penelitian.

### 3.2.3.1 Perijinan lapangan dan laboratorium

Perijinan lapangan dan laboratorium merupakan tahapan awal untuk memastikan ketersediaan bahan berupa *Sampel* dan sarana yang dibutuhkan dalam melakukan analisis sehingga dapat mendukung proses penelitian.

### 3.2.3.2 Penelitian pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan guna mengetahui besar kebutuhan alat maupun bahan yang harus disediakan selama proses penelitian sesuai dengan penggunaan variasi. Data yang akan diperoleh dari pelaksanaan penelitian pendahuluan ini adalah nilai kadar air, besar volume yang digunakan pada setiap variasi, dan kesesuaian penggunaan rasio w/s.

Pada dasarnya langkah pengukuran kandungan kadar air pada *sampel* adalah dengan mengeringkan sampel hingga mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai 105°C. Fungsi dari analisis kadar air dibutuhkan untuk mengetahui banyaknya lumpur dan cacing yang akan dimasukkan ke dalam reaktor guna memenuhi rasio w/s (dalam berat kering) yang telah ditetapkan. Pengukuran kadar air dilakukan pada lumpur dan masing-masing jenis cacing. Perhitungan kadar air dalam sampel dapat ditemukan dengan rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

dimana :

$m_0$  = berat sampel mula-mula, dalam gram

$m_1$  = berat sampel setelah dikeringkan, dalam gram

Berdasarkan penelitian pendahuluan yang dilakukan pada laboratorium pemulihan air diperoleh hasil analisa kadar air dalam lumpur dan masing-masing cacing sebagai berikut:

- a) Kadar air cacing *Tubifex sp* = 75 %
- b) Kadar air cacing *Lumbriculus sp.* = 87 %
- c) Kadar air *secondary sludge* = 92,4 %

Data dari kadar air didapatkan, kemudian dijadikan sebagai dasar penambahan volume lumpur yang digunakan sesuai dengan penggunaan variasi dalam penelitian. Tabel 3.1 berikut menjelaskan rencana penggunaan berat cacing pada setiap reaktor.

**Tabel 3.1 Rencana berat cacing pada setiap reaktor**

Jenis Cacing	Rasio w/s awal	Berat cacing (gram)
<i>Tubifex sp.</i>	0,4	± 10
	0,6	± 15
	0,8	± 20
<i>Lumbriculus sp.</i>	0,4	± 5
	0,6	± 7,5
	0,8	± 10

Data densitas lumpur juga diperlukan guna menghitung kebutuhan volume penambahan lumpur yang digunakan. Berdasarkan Turovskiy dan Mathai (2006), densitas lumpur sekunder sebesar  $1 \text{ g/cm}^3$  sedangkan kadar air lumpur telah diketahui dari hasil analisis sebelumnya. Volume lumpur setiap variabel yang digunakan dalam penelitian ini dihitung berdasarkan rencana berat basah cacing. Berikut adalah contoh perhitungan volume lumpur untuk variasi jenis cacing *Tubifex sp.* dengan w/s 0,4 dan berat basah cacing 10 gr:

- Berat kering cacing  
 = Berat basah cacing - (Berat basah cacing x kadar air cacing)  
 =  $10 \text{ gr} - (10 \text{ gr} \times 75\%)$   
 = 2,5 gr berat kering
- Berat kering lumpur pada rasio w/s 0,4  
 = Berat kering cacing : rasio 0,4  
 =  $2,5 \text{ gr} : 0,4$   
 = 6,25 gr
- Berat basah lumpur  
 =  $\frac{\text{berat kering}}{\frac{\text{berat basah}}{\text{berat basah}} - \text{kadar air}}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{berat kering}}{1 - \text{kadar air}} \\
 &= 6,25 \text{ gr} : (1 - 92,4\%) \\
 &= 82,2 \text{ gr} \\
 4. \text{ Volume lumpur} \\
 &= 82,2 \text{ gr} : 1 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 82,2 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Cara perhitungan yang sama juga dilakukan pada jenis cacing *Lumbriculus sp.* dan dua rasio lainnya sehingga, didapatkan rekapitulasi hasil penambahan volume lumpur untuk setiap reaktor yang tertera pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Rekapitulasi perhitungan volume lumpur untuk setiap variabel**

Jenis Cacing	rasio w/s awal	berat basah cacing (g)	Volume lumpur (mL)
<i>Tubifex sp.</i>	0,4	± 10	± 82,2
	0,6	± 15	± 82,2
	0,8	± 20	± 82,2
<i>Lumbriculus sp.</i>	0,4	± 5	± 21,4
	0,6	± 7,5	± 21,4
	0,8	± 10	± 21,4

Dalam penelitian ini digunakan variabel jenis cacing dan rasio W/S dalam keadaan awal berdasarkan berat kering dengan rentang 0,4 hingga 0,8 yang disajikan dalam bentuk Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Variabel penelitian**

Jenis Cacing	<i>Tubifex sp.</i> (A)	<i>Lumbriculus sp.</i> (B)
Rasio W/S		
0,4 (X)	AX	BX
0,6 (Y)	AY	BY
0,8 (Z)	AZ	BZ
Kontrol (K)	AK	BK

Pemilihan tersebut didasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan Elissen (2007), disebutkan bahwa penggunaan nilai rasio W/S tidak dianjurkan kurang dari 0,4 pada cacing akuatik *Lumbriculus variegates* (*Oligochaeta*). Hal tersebut dikarena besar tingkat removal yang dapat dilakukan cacing dengan rasio dibawah 0,4 tidak terlalu *significant* dibandingkan dengan pengolahan tanpa penggunaan penambahan cacing. Alasan jenis cacing dipilih sebagai variabel adalah untuk mengetahui apakah dengan jenis cacing yang berbeda akan berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi TSS dan COD dalam mereduksi lumpur.

Berdasarkan uraian diatas dibutuhkan penelitian pendahuluan untuk menganalisis kesesuaian rasio W/S yang digunakan selama penelitian. Hal tersebut bertujuan untuk memastikan jumlah lumpur dalam w/s yang digunakan mencukupi kebutuhan makanan cacing dan dapat digunakan sebagai *sampel* selama waktu penelitian. Langkah yang dilakukan pada tahapan ini adalah dengan pemberian lumpur setiap hari sebagai substrat untuk dimakan oleh cacing kemudian dilakukan pengamatan terhadap penurunan lumpur yang terjadi selama 3 hari. Pemberian lumpur dilakukan dengan menggunakan rasio w/s terbesar yaitu 0,8 untuk menjamin kecukupan lumpur pada rasio w/s yang lebih kecil. Apabila setelah 3 hari didapatkan lumpur habis dimakan oleh cacing maka perlu dilakuan penurunan penggunaan rasio W/S karena jumlah predator tidak sebanding dengan asupan makanan yang diberikan sehingga, tidak ada sisa lumpur yang dapat digunakan sebagai *sampel* selama penelitian. Berikut adalah kebutuhan lumpur dan cacing yang digunakan untuk analisis kesesuaian rasio w/s:

*Tubifex sp.*

Berat Cacing	= 20 g
Lumpur	= 82,2 mL/7 hari
	= 12 mL (diberikan setiap hari selama 3 hari berturut-turut)

*Lumbriculus sp.*

Cacing	= 10 g
Lumpur	= 21,4 mL/7 hari

= 3 mL (diberikan setiap hari selama 3 hari berturut-turut)

Didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa lumpur yang diberikan kepada cacing selama tiga hari tersisa baik pada cacing *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan rasio 0,4: 0,6 dan 0,8 dapat digunakan, karena telah dipastikan cacing tidak akan mati akibat kekurangan makanan. Selain itu, hal tersebut juga memastikan bahwa sampai akhir penelitian masih lumpur yang dapat digunakan sebagai *sampel* untuk analisis.

### 3.2.3.3 Metode dan prosedur analisis

Dalam penelitian ini parameter yang akan di analisis adalah Total Suspended Solid Padatan tersuspensi Menurut Sanin *et al.*, (2011) Konsentrasi padatan (*solid*) penting untuk diketahui karena merupakan tolok ukur keberhasilan pengolahan lumpur. Solid terdiri dari partikel tersuspensi dan terlarut (Sawyer *et al.*, 2005). Dalam lumpur sebagian besar mengandung partikel tersuspensi, sehingga dijadikanlah TSS sebagai parameter guna mewakili berkurangnya konsentrasi padatan yang terdapat dalam lumpur.

Dalam melakukan pengolahan lumpur terdapat aspek yang harus diutamakan yaitu mengurangi kadar polutan tidak hanya dari sisi kuantitas namun juga dari sisi kualitas (Sanin *et al.*, 2011). Terdapat 60% kandungan organik dalam lumpur hasil dari pengolahan limbah domestik (Setiawan, 2005). *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kandungan bahan organik. Apabila kandungan organik pada lumpur berkurang maka, semakin meningkat pula kualitas dari pengolahan lumpur tersebut. Berdasarkan hal tersebut dijadikanlah COD sebagai parameter untuk mewakili tingkat zat organik yang terkandung dalam lumpur. Menurut Ellisen (2007), cacing memanfaatkan kandungan bahan organik dan nutrient yang terdapat dalam lumpur sebagai pembentuk biomassa. Pada proses ini zat organik dan nutrient dirubah cacing menjadi senyawa sederhana yang dikeluarkan sebagai hasil dari sisa metabolisme (Campbell *et al.*, 2004). Sisa metabolisme

cacing dilepas dalam bentuk fases dan cairan yang dikeluarkan melalui organ nephridiofor (Pelczar, 2008). Sisa metabolisme tersebut dapat terlepas dan terlarut dalam kompartemen air dan lumpur sehingga perlu dilakukan analisis perubahan konsentrasi TSS dan COD pada kompartemen tersebut. Analisis DO, temperatur, dan PH juga dilakukan sebagai parameter pendukung sehingga secara berkala dengan tujuan untuk memastikan keadaan reaktor sesuai kriteria habitat cacing akuatik baik *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.*.

Secara garis besar metode dan prosedur analisis yang dipergunakan dalam penelitian ini mengacu pada APHA, (2005) untuk menunjang jalannya penelitian sesuai dengan standar prosedur. Berikut adalah metode-metode yang digunakan untuk analisis laborium setiap parameter antara lain:

1. Analisis *Dissolved Oxygen* (DO) dilakukan dengan metode elektrokimia menggunakan alat DO meter .
2. Analisis temperatur dilakukan dengan menggunakan alat termometer.
3. Analisis pH dilakukan pada sampel menggunakan metode 4500 H<sup>+</sup> Electrometric Method dengan menggunakan alat basic pH-meter (APHA, 2005).
4. Analisis COD menggunakan metode 5220 C *Closed Reflux, Titrimetric Methods* (APHA, 2005). Secara umum prinsip dari analisa COD menggunakan metode reflus tertutup sama dengan metode reflus terbuka yaitu dengan mengoksidasi sebagian besar jenis bahan organik oleh kalium dikromat. Sampel direflus dengan menggunakan larutan asam kuat hingga diperoleh kelebihan dari kalium dikromat (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). Setelah proses tersebut sisa dari K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yang tidak tereduksi akan dititrasikan menggunakan larutan FAS (Ferrous Ammonium Sulfate) untuk menghitung jumlah dari K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yang dikonsumsi. K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yang dikonsumsi setara dengan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terlarut dalam sampel. Senyawa organik yang mudah menguap lebih mudah teroksidasi dalam sistem tertutup karena adanya kontak yang lama dengan oksidatornya.

5. Analisis TSS menggunakan metode 2540 C dan SNI 06-6989.3-2004 gravimetri. Gravimetri adalah pemeriksaan jumlah zat dengan penimbangan hasil reaksi pengendapan menggunakan cara sederhana. Kesederhanaan itu dikarenakan dalam gravimetri jumlah zat ditentukan dengan cara menimbang langsung massa zat yang dipisahkan dari zat-zat lain. Langkah pengukuran pada gravimetri adalah larutan sampel yang telah dihomogenkan terlebih dahulu lalu disaring dengan kertas saring kemudian ditimbang. Residu yang tertahan pada kertas saring dikeringkan hingga mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai 105°C sehingga kenaikan berat kertas saring mewakili padatan tersuspensi total (TSS).

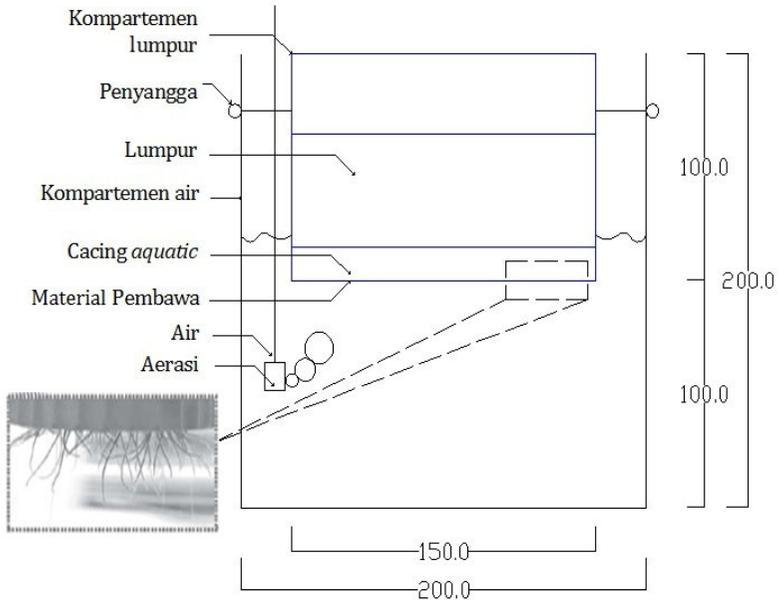
#### **3.2.3.4 Persiapan alat dan bahan**

Setelah diketahui metode dan prosedur kerja yang dilakukan selama proses penelitian maka didapatkan kebutuhan alat dan bahan yang harus disediakan selama penelitian. Berdasarkan perhitungan diatas pada Tabel 3.2 diketahui volume lumpur yang akan digunakan sebesar  $\pm 82,2$  ml dan jumlah cacing sebesar 20 gram sehingga reaktor yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran 15 cm x 15 cm x 10cm untuk kompartemen lumpur. Kompartemen air menggunakan dimensi dengan ukuran 20cm x 20cm x 20cm yang dipaparkan pada Gambar 3.2.

Dalam reaktor ini juga dibutuhkan aerator yang berfungsi untuk memberikan suplai oksigen dalam kompartemen air. Dilakukan pengaturan terhadap aerator sehingga besar oksigen pada air sesuai untuk mendukung kehidupan cacing yaitu pada rentang 2-5 mg/L. Dibutuhkan pula material pembawa berfungsi sebagai media menempel cacing sehingga cacing tidak jatuh ke kompartemen air dan ada reaktor ini akan digunakan saringan sablon yang berbahan nilon.

Menurut Turovskiy dan Mathai (2006), Lumpur biologis mengandung bakteri yang telah mengkonsumsi bahan organik dalam proses pengolahan biologis, sehingga digunakan reaktor tanpa penambahan cacing sebagai reaktor kontrol guna

mengetahui kemampuan organisme atau bakteri yang terkandung pada lumpur dalam mereduksi lumpur. Perlakuan yang sama juga diberikan pada reaktor kontrol, hanya saja tidak dilakukan penambahan cacing pada kompartemen lumpur.



**Gambar 3.2 Dimensi reaktor**

Kebutuhan total reaktor yang diperlukan dalam penelitian ini adalah 56 reaktor (jumlah tertera pada Tabel 3.4) sesuai dengan dimensi reaktor. Guna meminimalisir pemakaian reaktor yang terlalu banyak, maka akan dilakukan *running* secara bergantian untuk variasi cacing akuatik yang berbeda. *Running* pertama dilakukan pada tanggal 22 April 2014 sampai dengan tanggal 29 April 2014 dengan variasi jenis cacing *Tubifex sp.* dan rasio w/s 04;0,6;0,8. Selanjutnya *running* ke dua dilaksanakan pada tanggal 9 Mei 2014 sampai dengan tanggal 16 Mei 2014 menggunakan variasi jenis cacing *Lumbriculus sp.* dan rasio w/s 04;0,6;0,8. Digunakan reaktor sebanyak 28 buah untuk setiap kali

*running* dengan demikian dapat dilakukan pemangkasan setengah dari jumlah reaktor.

**Tabel 3.4 Rincian jumlah dan nama reaktor**

Variabel		Pengamatan Hari ke-						
Jenis Cacing	Rasio W/S	1	2	3	4	5	6	7
<i>Tubifex sp.</i> (A)	0,4 (X)	AX1	AX2	AX3	AX4	AX5	AX6	AX7
	0,6 (Y)	AY1	AY2	AY3	AY4	AY5	AY6	AY7
	0,8 (Z)	AZ1	AZ2	AZ3	AZ4	AX5	AX6	AX7
	Kontrol(K)	AK1	AK2	AK3	AK4	AK5	AK6	AK7
<i>Lumbriculus sp.</i> (B)	0,4 (X)	BX1	BX2	BX3	BX4	BX5	BX6	BX7
	0,6 (Y)	BY1	BY2	BY3	BY4	BY5	BY6	BY7
	0,8 (Z)	BZ1	BZ2	BZ3	BZ4	BX5	BX6	BX7
	Kontrol(K)	BK1	BK2	BK3	BK4	BK5	BK6	BK7

### 3.2.4 Pelaksanaan penelitian

Dalam penjelasan sebelumnya telah dijabarkan latar belakang dan alasan penggunaan variasi dari penelitian ini. Berikut adalah langkah-langkah kerja yang akan dilakukan pada tahap pelaksanaan diantaranya

1. Diberikan perlakuan pencucian terhadap cacing yang akan digunakan dengan cara menempatkan cacing pada air yang mengalir selama 24 jam. Perlakuan tersebut dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan parasit yang menempel pada cacing. Hal tersebut juga dimaksudkan agar cacing dalam keadaan bersih dan siap untuk melakukan reduksi pada lumpur.
2. Sampling lumpur dilakukan untuk mengambil *sampel* lumpur yang digunakan sebagai objek penelitian. Lumpur yang digunakan adalah lumpur pada unit bangunan *slugde drying bed* berasal dari *outlet* pipa lumpur bak pengendap II (*secondary sludge*). Sampel yang diambil berasal dari salah satu instalasi pengolahan air limbah konvensional di Surabaya sebanyak  $\pm 10$  L, pengambilan *sampel* dilakukan dengan

menggunakan gayung kemudian dimasukkan pada *trash bag* dan timba.

3. Memberikan nama pada masing masing reaktor sesuai rencana, kemudian pada kompartemen air dimasukkan air sebanyak  $\pm 3,9$  L dan mengkondisikan kompartemen air sesuai kriteria habitat cacing akuatik yakni dengan cara memberikan suplai oksigen yang diinginkan. Pasokkan oksigen diberikan dengan cara memberikan pengaturan aerator yang sesuai dengan kriteria habitat hidup cacing.
4. Memasukkan cacing akuatik yang telah ditimbang sesuai dengan penggunaan berat pada setiap reaktor dalam kompartemen lumpur di atas bahan pembawa. Lumpur kemudian dimasukkan diatas cacing akuatik sesuai dengan penggunaan variasi disetiap reaktor dan perlakuan yang sama juga diberikan pada reaktor kontrol namun tanpa ada penambahan cacing akuatik sebagai reduktor.
5. Dilakukan analisis terhadap TSS dan COD pada kompartemen air maupun kompartemen lumpur sebagai nilai awal penelitian serta memberi tanda pada reaktor guna mengetahui penurunan tinggi lumpur pada kompartemen lumpur.
6. Setiap hari sekali selama 7 hari pada pukul 08.30 BBWI dilakukan analisis terhadap TSS dan COD pada kompartemen lumpur dan air, agar dapat diketahui perubahan nilai yang terjadi pada objek penelitian. Setiap harinya sampel diambil dengan cara lumpur diambil sebanyak  $\pm 5$  ml dengan menggunakan beaker glass pada kompartemen lumpur. Sedangkan pada kompartemen air pengambilan sampel dilakukan dengan menghomogenkan air dan feses terlebih dahulu kemudian sampel baru diambil sebanyak  $\pm 100$  ml menggunakan beaker glass.
7. Pengukuran berkala pada suhu, DO, dan PH juga dilakukan pada kompartemen air setiap hari, hal tersebut bertujuan untuk menjaga keadaan reaktor sesuai dengan kriteria habitat cacing akuatik. Gambar terkait tahapan penelitian ini telah terlampir lampiran B1-10.

### **3.2.5 Analisis data dan pembahasan**

Analisis data dan pembahasan dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil analisis yang didapatkan selama penelitian kemudian akan dikolerasikan dengan teori. Data yang didapatkan dalam penelitian ini adalah analisis tingkat reduksi lumpur yang mampu diturunkan oleh masing-masing cacing akuatik *Tubifex sp.* dan *Lumbriculus sp.* melalui besar nilai *Total Suspended Solid* (TSS). Terkait dengan kualitas lumpur, maka akan dibahas pula pengaruh kandungan zat organik melalui nilai *chemical oxygen demand* (COD) pada lumpur akibat adanya aktivitas cacing. Penggunaan rasio w/s dan jenis cacing terhadap perubahan konsentrasi TSS dan COD dalam reduksi lumpur juga turut dibahas.

### **3.2.6 Kesimpulan dan saran**

Kesimpulan dan saran dibuat berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya. Kesimpulan mengacu pada tujuan yang ingin dicapai, sedangkan saran ditujukan untuk rekomendasi penelitian.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 4**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Kondisi Lingkungan Cacing Dalam Reaktor**

Guna menunjang kehidupan cacing akuatik yang digunakan selama melakukan penelitian, maka dilakukan pengaturan dan kontroling terhadap kondisi lingkungan cacing dalam reaktor. Hal tersebut dilakukan guna mengetahui kondisi cacing dalam reaktor stabil dan sesuai dengan kriteria habitat hidupnya. Sehingga tidak mempengaruhi berlangsungnya proses reduksi dalam reaktor. Analisis ini juga penting dilakukan guna mengetahui apakah faktor efisiensi yang dihasilkan terpengaruh oleh buruknya kondisi lingkungan. Hal tersebut dikarenakan tingginya efisiensi reduksi lumpur dapat dicapai dengan pertumbuhan, reproduksi dan kemampuan bertahan hidup cacing yang baik dalam reaktor. Dalam hal ini kondisi lingkungan yang harus tetap dijaga meliputi derajat keasaman (pH), suhu atau temperatur, serta kandungan oksigen terlarut (DO) pada air. Pelakuan ini kemudian dijadikan sebagai parameter penunjang yang dianalisis setiap harinya. Analisis dilakukan pada kompartemen air sebagai media penunjang kehidupan cacing akuatik.

##### **4.1.1 Hasil Analisis Parameter pH**

Salah satu faktor penunjang hidup cacing akuatik adalah sesuai kadar derajat keasaman (pH) pada habitatnya. Makhluk hidup yang berada pada kisaran pH optimum memiliki kestabilan yang tinggi dalam melakukan akititas (Williamson & Fieser, 1992). Berdasarkan hal tersebutlah maka pengecekan dan pengukuran pH dilakukan setiap harinya selama proses penelitian dengan menggunakan alat pH meter. Ditinjau dari hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa kondisi lingkungan cacing dalam reaktor cukup stabil untuk tingkat keasamannya. Tabel 4.1 dan 4.2 berikut akan memaparkan hasil dari analisis pH yang telah dilakukan selama penelitian baik pada *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.*

**Tabel 4.1 Kandungan pH air pada variasi *Tubifex sp.***

Waktu (hari)	pH air variasi <i>Tubifex sp.</i>			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	8,22	8,17	8,07	8,11
1	8,33	8,09	7,86	7,75
2	8,18	8,34	8,04	7,95
3	7,01	7,51	7,57	7,5
4	8,08	7,65	7,89	7,75
5	7,81	7,3	7,65	7,52
6	7,84	7,59	7,55	7,47
7	8,08	7,82	7,74	7,68

Sumber: Hasil analisis

**Tabel 4.2 Kandungan pH air pada variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (hari)	pH air variasi <i>Lumbriculus sp.</i>			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	8,56	8,41	8,36	8,33
1	8,55	8,39	8,31	8,28
2	8,27	7,98	7,86	7,91
3	8,23	7,99	7,93	7,82
4	8,37	8,20	8,27	8,25
5	8,34	8,15	8,02	7,64
6	8,43	8,01	8,05	7,99
7	8,54	8,37	8,33	8,38

Sumber: Hasil analisis

Dipaparkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 menunjukkan nilai pH rata-rata dalam reaktor selama penelitian mencapai 7,81 untuk *Tubifex sp.* dan 8,19 untuk *Lumbriculus sp.* Nilai pH karena masih sesuai dengan kriteria habitat hidup cacing akuatik yakni

pada rentang 6-8 (Yulianingsih *et al.*, 2012) dan Drewes dan Brinkhurst 1990). Kisaran nilai suhu tersebut dapat dikatakan cenderung stabil walaupun terjadi kenaikan pH di beberapa titik. Apabila dibandingkan dengan reaktor uji, pH pada reaktor kontrol selalu memiliki nilai yang lebih tinggi. Kondisi tersebut dikarenakan terjadinya pembentukan CO<sub>2</sub> hasil dari proses respirasi dan metabolisme cacing dan hasil tersebut memiliki sifat pH asam. Kandungan CO<sub>2</sub> yang semakin tinggi membuat nilai pH semakin asam (Williamson & Fieser, 1992). Secara umum perubahan pH dapat dipengaruhi oleh suhu, oksigen terlarut (DO), kegiatan organisme (respirasi dan metabolisme).

#### 4.1.2 Hasil Analisis Parameter Suhu

Faktor penunjang hidup cacing akuatik lainnya adalah temperatur atau suhu habitat cacing dalam reaktor. Menurut Hansen *et al.*, (2004), lebih dari 60% tubuh cacing mengandung protein, sehingga ketika terjadi kenaikan suhu melebihi kriteria habitatnya maka proses denaturasi juga mulai berlangsung dan menghancurkan aktivitas molekul enzim (Martoharsono, 1994). Hal ini dikarenakan adanya rantai protein pada cacing yang tidak terlipat setelah pemutusan ikatan yang lemah sehingga secara keseluruhan kecepatan reaksi akan menurun (Lee, 1992). Berdasarkan uraian diatas maka pengecekan dan pengukuran suhu yang dilakukan menggunakan alat termometer, Data-data hasil analisis suhu tersaji dalam Tabel 4.3 untuk variasi *Tubifex sp.* dan Tabel 4.4 untuk variasi *Lumbriculus sp.*

**Tabel 4.3 Suhu air pada variasi *Tubifex sp.***

Waktu (hari)	Suhu air (°C) variasi <i>Tubifex sp.</i>			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	30	30	30	30
1	32	31	31	31
2	28	28	28	28
3	28	28	28	28
4	28	28	28	28

Waktu (hari)	Suhu air (°C) variasi <i>Tubifex sp.</i>			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
5	28	28	28	28
6	30	30	30	30,5
7	30,5	30	30	30

Sumber: Hasil analisis

**Tabel 4.4 Suhu air pada variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (hari)	Suhu air (°C) variasi <i>Lumbriculus sp.</i>			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	30	30	30	30
1	30	30	30	30
2	30,5	30	30	30,5
3	29,5	29	29	29,5
4	30	30	29,5	30
5	30	30	30	30
6	29	29	29	28,5
7	30	30	30	30

Sumber: Hasil analisis

Dipaparkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menunjukkan nilai suhu rata-rata dalam reaktor selama penelitian mencapai 29,13°C untuk *Tubifex sp.* dan 29,81°C untuk *Lumbriculus sp.* Kisaran nilai suhu tersebut dapat dikatakan cenderung stabil karena masih sesuai dengan kriteria habitat hidup cacing akuatik yakni pada rentang 26-30°C Yulianingsih *et al.*, (2012) dan Drewes dan Brinkhurst (1990). Dalam proses reduksi lumpur dengan menggunakan cacing, suhu dapat mempengaruhi efek tumpang tindih pada perilaku cacing atau perubahan waktu tinggal dalam usus cacing. Suhu yang rendah membuat makanan yang dimakan cacing tinggal lebih lama dalam usus. Sebaliknya suhu yang tinggi dapat membuat proses enzimatik dalam cacing

melaju lebih cepat. Hal tersebut mempengaruhi laju reduksi lumpur oleh cacing (Hendrix *et al.*, 2009a). Selain itu Menurut Jasin (1992), cacing dari golongan *oligochaeta* memiliki anatomi tubuh dalam dan luar yang menyatu, sehingga membuat organ satu dengan organ lainnya berdekatan. Hal tersebut membuat sensitivinya kerja pada organ cacing apabila terkena rangsang dari lingkungan yang tidak sesuai dengan kriteria habitatnya. Rangsang yang tidak sesuai dengan kriteria habitat hidupnya, dapat mempengaruhi proses reduksi yang dapat dilakukan oleh cacing.

#### 4.1.3 Hasil Analisis Parameter DO

Parameter penunjang lainnya yang mendukung kondisi lingkungan cacing pada reaktor adalah kandungan oksigen terlarut, Menurut Edward dan Pulumahuny (2003). Oksigen terlarut dalam air memiliki peran yang cukup vital bagi kehidupan organisme perairan dan reaksi yang terdapat didalamnya. Selama penelitian pengukuran DO dilakukan dengan tujuan mengontrol jumlah oksigen terlarut dalam reaktor guna menunjang kehidupan cacing. Data-data hasil analisis DO tersaji dalam Tabel 4.5 untuk variasi *Tubifex sp.* dan Tabel 4.6 untuk variasi *Lumbriculus sp.*

**Tabel 4.5 DO air pada variasi *Tubifex sp.***

Waktu (hari)	DO air (mg/L) variasi <i>Tubifex sp.</i>			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	3,65	3,16	3,3	3,5
1	3,61	3,14	3,27	3,45
2	3,59	3,18	3,25	3,11
3	3,55	2,98	3,23	3,28
4	3,5	2,79	3,2	3,48
5	3,56	3,07	3,47	3,95
6	3,58	3,08	3,39	3,49
7	3,62	3,22	3,4	3,34

Sumber: Hasil analisis

**Tabel 4.6 DO air pada variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (hari)	DO air (mg/L) variasi <i>Lumbriculus sp.</i>			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	3,6	3,56	3,51	3,53
1	3,52	3,38	3,39	3,37
2	3,48	3,37	3,36	3,35
3	3,42	3,34	3,32	3,31
4	3,43	3,1	3,17	3,17
5	3,41	3,18	3,18	3,22
6	3,45	3,26	3,28	3,28
7	3,49	3,29	3,31	3,33

Sumber: Hasil analisis

Dari paparan Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 di atas, ditinjau dari kandungan oksigen terlarut baik pada cacing *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.* didapatkan nilai rata-rata DO yang bertugas untuk mensuplay oksigen cacing sebesar 3,45 mg/L untuk *Tubifex sp.* dan 3,32 mg/L untuk *Lumbriculus sp.* Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi lingkungan cacing dalam reaktor cenderung stabil. Walaupun dibeberapa titik terjadi penurunan namun kandungan DO pada reaktor dikatakan stabil, karena masih dalam rentang kriteria DO cacing akuatik yaitu sebesar 2-5 mg/L. Secara garis besar penurunan DO pada beberapa titik dapat dikarenakan proses respirasi organisme perairan yang menyebabkan meningkatnya jumlah karbon organik dalam air sehingga merubah ketersediaan oksigen (Chonnel dan Miller, 1995).

#### **4.2 Hasil analisis parameter *Total Suspended Solid (TSS)***

Pada penelitian ini *Total Suspended Solid (TSS)* merupakan salah satu parameter utama yang digunakan sebagai objek analisis reduksi lumpur oleh cacing. Penurunan konsentrasi padatan pada lumpur diwakilkan dengan nilai TSS yang

didapatkan. Dengan penurunan konsentrasi padatan yang terdapat dalam lumpur, maka secara otomatis terjadi pula reduksi pada volume lumpur. Dari nilai TSS yang didapatkan kemudian dilakukan perbandingan terhadap kemampuan reduksi pada masing-masing cacing.

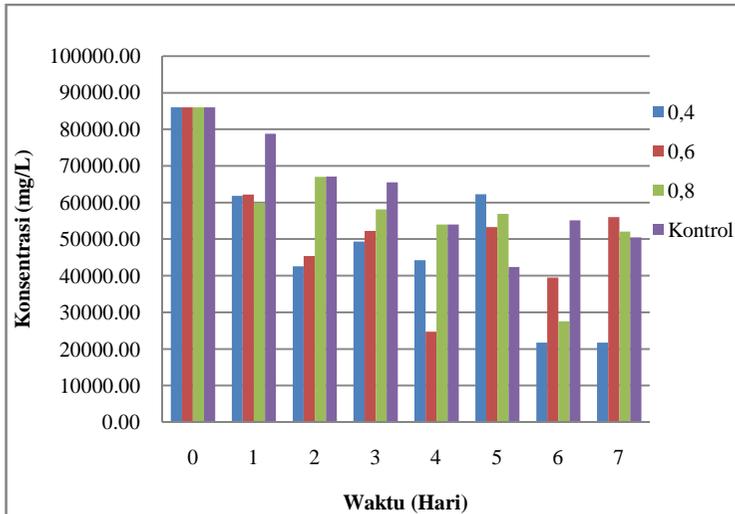
Variasi cacing pertama yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis cacing *Tubifex sp.* Hasil pengamatan visual yang dilakukan selama penelitian adalah, walaupun *Tubifex sp.* memiliki ukuran tubuh lebih kecil yakni 1-2 cm (Yulianingsih *et al.*, 2012) dibandingkan dengan *Lumbriculus sp.*, *Tubifex sp.* memiliki gerak lebih aktif. Gerakan tersebut dapat terlihat disaat cacing mulai dimasukkan dalam reaktor, *Tubifex sp.* secara langsung memosisikan dirinya dengan menggoyang-goyangkan ekornya pada kompartemen air (gambar terlampir pada lampiran B10). Pengamatan visual selanjutnya dilakukan selang beberapa menit setelah lumpur di masukkan dalam reaktor, terlihat bahwa *Tubifex sp.* mulai bergerak mendekati lumpur yang diberikan (gambar tersaji pada lampiran B14). Tabel 4.7 menyajikan kemampuan cacing *Tubifex sp.* dalam mereduksi lumpur dengan parameter TSS selama penelitian.

**Tabel 4.7 Kandungan TSS pada lumpur variasi *Tubifex sp***

Waktu (Hari)	Konsentrasi (mg/L) TSS lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	85977,48	85977,48	85977,48	85977,48
1	78809,11	61850,80	62146,89	59812,16
2	67114,09	42590,43	45360,82	67004,29
3	65517,24	49382,72	52211,75	58175,14
4	54025,97	44272,66	24752,48	53986,71
5	42372,88	62271,06	53278,69	56872,04
6	55133,08	21684,32	39513,68	27511,96
7	50464,04	21739,13	56006,49	52060,74

Sumber: Hasil analisis

Data dari analisis TSS lumpur dengan variasi cacing *Tubifex sp.* pada Tabel 4.7 memiliki nilai yang cukup berfluktuatif. Hal ini bisa terjadi sebab dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya yaitu berupa faktor lingkungan terhadap metabolisme cacing *Tubifex sp.* Guna memperjelas kecenderungan hasil yang didapatkan dalam Tabel 4.7 maka akan disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Kandungan TSS pada lumpur variasi *Tubifex sp.*

Dari data yang telah disajikan dalam tabel maupun grafik di atas terlihat bahwa pada cacing *Tubifex sp.* dalam lumpur terjadi kecenderungan penurunan nilai TSS. Guna lebih memperjelas besar penurunan TSS dilakukan pula perhitungan nilai persen removal pada masing-masing variasi. Contoh perhitungan dilakukan pada Rasio 0,4 hari ke-0 dan 1 dengan cara sebagai berikut:

Konsentrasi TSS hari ke-0 = 85977,48 mg/L

Konsentrasi TSS hari ke-1 = 61850,80 mg/L

$$\begin{aligned}
 \text{Persen removal hari 1} &= \frac{TSS_0 - TSS_1}{TSS_0} \times 100\% \\
 &= \frac{85977,48 - 61850,8}{85977,48} \times 100\% = 28\%
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama di lakukan pula pada masing-masing variasi. Tabel 4.8 akan menyajikan besar persentase removal yang dapat dilakukan cacing *Tubifex sp.* pada masing-masing variasi.

**Tabel 4.8 Persen removal TSS lumpur variasi *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	% Removal TSS lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0.4	0.6	0.8
1	8%	28%	28%	30%
2	22%	50%	47%	22%
3	24%	43%	39%	32%
4	37%	49%	71%	37%
5	51%	28%	38%	34%
6	36%	75%	54%	68%
7	41%	75%	35%	39%
Rata-rata	31%	50%	45%	38%

Sumber: Hasil analisis

Didapatkan nilai persen removal rata-rata pada masing-masing reaktor adalah 50% untuk rasio 0,4; 45% untuk rasio 0,6; 38% untuk rasio 0,8; dan 31% untuk reaktor kontrol. Guna mengetahui kemampuan cacing sendiri dalam mereduksi lumpur, maka dilakukan pengurangan terhadap nilai removal pada masing-masing rasio dengan reaktor kontrol. Didapatkan besar nilai kemampuan cacing dalam mereduksi lumpur adalah 18% pada rasio 0,4; 13% pada rasio 0,6; dan 6% pada rasio 0,8. Berdasarkan uraian di atas dapat diketahui bahwa cacing *Tubifex sp.* dapat menambah penurunan nilai TSS dalam lumpur sebanyak 18% pada perbandingan rasio w/s 0,4, dengan nilai awal

kandungan TSS lumpur sebesar 85977,48 mg/L menjadi 21739,13 mg/L.

Produk lain yang dihasilkan selama proses reduksi lumpur adalah feses yang dikeluarkan oleh cacing akibat proses metabolisme (Elissen., 2007). Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan pula analisis TSS pada kompartemen air, karena terdapat hasil metabolisme cacing yang terlepas dalam kompartemen air. Dalam hal ini terdapat peran kain pembawa yang berfungsi menjaga ekor cacing agar berada pada kompartemen air untuk mendapatkan pasokan oksigen. Selain itu penggunaan kain pembawa juga bertujuan untuk dapat memisahkan lumpur dengan hasil metabolisme cacing (Elissen *et al.*, 2006). Dikarenakan ekor cacing berada pada kompartemen air, sehingga analisis ini mengetahui besar pelepasan TSS rata-rata per hari akibat hasil dari metabolisme cacing. Data analisis kandungan TSS dalam air untuk variasi cacing *Tubifex sp.* tersaji pada Tabel. 4.9.

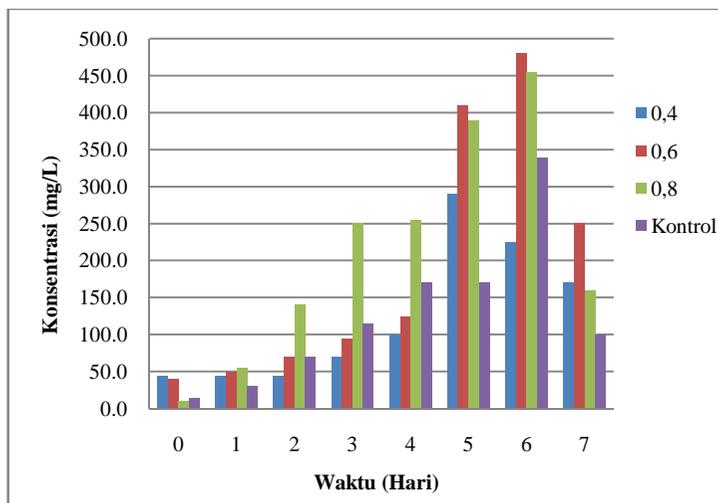
**Tabel 4.9 Kandungan TSS pada air variasi cacing *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	Konsentrasi (mg/L) air			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	15,0	45,0	40,0	10,0
1	30,0	45,0	50,0	55,0
2	70,0	45,0	70,0	140,0
3	115,0	70,0	95,0	250,0
4	170,0	100,0	125,0	255,0
5	170,0	290,0	410,0	390,0
6	340,0	225,0	480,0	455,0
7	100,0	170,0	250,0	160,0

Sumber: Hasil analisis

Data dari analisis TSS dalam air dengan variasi cacing *Tubifex sp.* pada Tabel 4.9 memiliki nilai yang cukup

berfluktuatif. Guna memperjelas kecenderungan hasil yang didapatkan dalam Tabel 4.9 maka akan disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2 Kandungan TSS pada air variasi *Tubifex sp***

Dari data yang telah disajikan dalam Tabel 4.9 maupun Gambar 4.2 di atas terlihat bahwa pada reaktor dengan cacing *Tubifex sp.* terjadi kecenderungan peningkatan nilai TSS dalam kompartemen air. Peningkatan kandungan TSS ini disebabkan oleh hasil metabolisme yang di keluarkan cacing *Tubifex sp.* dalam kompartemen air (Ellisen., 2007). Hal yang sama juga terjadi pada reaktor tanpa penambahan cacing (reaktor kontrol) dikarenakan lumpur biologis mengandung bakteri yang mengkonsumsi bahan organik. Sehingga terdapat pula adanya dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme atau bakteri yang terdapat pada lumpur (Turovskiy dan Mathai, 2006). Hasil dekomposisi bahan organik tersebut kemudian terlepas dalam air, yang mengakibatkan kenaikan kandungan zat organik pada reaktor kontrol. Peningkatan kandungan TSS tertinggi dalam air untuk variasi cacing *Tubifex sp.* terjadi pada rasio w/s 0,8 yakni dari 15 mg/L menjadi 100 mg/L. Dari data ini juga dapat

diketahui bahwa nilai peningkatan rata-rata pelepasan TSS dalam air adalah sebesar 0,00275 mg TSS/mg *Tubifex sp.* setiap harinya. Dengan cara yang sama dilakukan pula perhitungan untuk mengetahui nilai rata-rata besar pelepasan TSS dalam air pada variasi cacing kedua *Lumbriculus sp.* Cara ini juga digunakan untuk menghitung nilai rata-rata besar pelepasan COD dalam lumpur dan air. Berikut adalah cara perhitungan pelepasan kandungan TSS dalam air variasi cacing *Tubifex sp.*

Rata-rata konsentrasi TSS pada air = 214,38 mg/L

$$\begin{aligned} \text{Massa lumpur} &= \frac{\text{Konsentrasi TSS lumpur}}{\text{Volume air}} \\ &= \frac{214,38 \text{ mg/L}}{3,9 \text{ L}} \\ &= 54,96 \text{ mg} \end{aligned}$$

Pelepasan konsentrasi TSS dalam air

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Massa lumpur}}{\text{Massa Cacing}} \\ &= \frac{54,96 \text{ mg}}{20.000 \text{ mg}} \\ &= 0,00275 \text{ mg TSS/mg } *Tubifex sp.* \end{aligned}$$

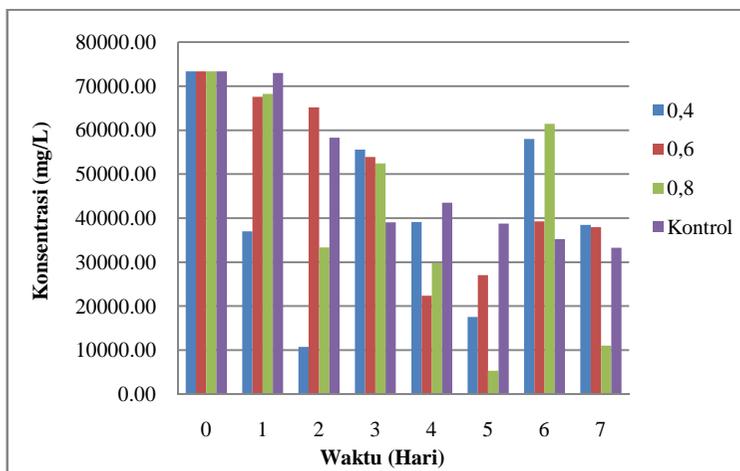
Variasi kedua yang digunakan adalah jenis cacing *Lumbriculus sp.*, secara morfologi cacing *Lumbriculus sp.* memiliki ukuran tubuh lebih besar dari *Tubifex sp.* yakni dengan panjang 10 cm (Drewes dan Brinkhurst, 1990). Hasil pengamatan visual yang dilakukan selama penelitian, dibandingkan dengan *Tubifex sp.*, cacing *Lumbriculus sp.* memiliki gerak lebih pasif namun cenderung merambat pada dinding kompartemen lumpur. Berdasarkan hal tersebut maka, saat *running* variasi kedua dilakukan penutupan pada reaktor lumpur. Hal ini dilakukan untuk menjaga cacing pada kompartemen lumpur selama proses reduksi berlangsung. Perlakuan tersebut tidak menghalangi pasokkan oksigen untuk cacing *Lumbriculus sp.*, karena kebutuhan oksigen yang diperlukan telah diberikan melalui aerasi pada kompartemen air. Air kemudian tetap dapat masuk melalui material pembawa yang digunakan. Tabel 4.10 dan Gambar 4.3

akan menyajikan hasil analisis kemampuan cacing *Lumbriculus sp.* dengan menggunakan parameter TSS dalam mereduksi lumpur selama penelitian.

**Tabel 4.10 Kandungan TSS lumpur variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Konsentrasi TSS (mg/L) lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	73327,96	73327,96	73327,96	73327,96
1	72970,20	36981,13	67567,57	68214,80
2	58312,66	10721,25	65151,52	33333,33
3	39053,25	55555,56	53927,32	52419,35
4	43533,12	39145,91	22364,22	29752,07
5	38759,69	17543,86	27088,04	5319,15
6	35267,35	58024,69	39240,51	61461,79
7	33253,01	38499,51	37974,68	11016,95

Sumber: Hasil analisis



**Gambar 4.3 Kandungan TSS pada lumpur variasi *Lumbriculus sp.***

Dari data yang telah disajikan dalam tabel maupun grafik di atas memiliki nilai yang cukup fluktuatif. Hal tersebut dapat dikarenakan beberapa faktor, salah satunya adalah pengaruh lingkungan terhadap metabolisme *Lumbriculus sp.* Namun terlihat bahwa pada cacing *Lumbriculus sp.* terjadi kecenderungan penurunan nilai TSS dalam lumpur. Didapatkan pula nilai persen removal rata-rata pada masing-masing rasio perbandingan dan kontrol yang tersaji dalam Tabel 4.11.

**Tabel 4.11 Persentase removal TSS lumpur variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	% Removal TSS lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0.4	0.6	0.8
1	0%	50%	8%	7%
2	20%	85%	11%	55%
3	47%	24%	26%	29%
4	41%	47%	70%	59%
5	47%	76%	63%	93%
6	52%	21%	46%	16%
7	55%	47%	48%	85%
Rata-rata	37%	50%	39%	49%

Sumber: Hasil analisis

Didapatkan nilai persen removal rata-rata pada masing-masing reaktor adalah 50% untuk rasio 0,4; 39% untuk rasio 0,6; 49% untuk rasio 0,8; dan 37% untuk reaktor kontrol. Sama halnya seperti pada variasi *Tubifex sp.* untuk mengetahui besar kemampuan organisme yang terkandung pada lumpur dalam mereduksi lumpur, maka dilakukan pengurangan terhadap nilai removal masing-masing rasio dengan reaktor kontrol. Didapatkan nilai besar kemampuan cacing dalam mereduksi lumpur adalah 13% pada rasio 0,4; 2% pada rasio 0,6; dan 12% pada rasio 0,8. Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa cacing

*Lumbriculus sp.* dapat menambah penurunan nilai TSS dalam lumpur sebanyak 13% pada perbandingan rasio w/s 0,4, dengan nilai awal kandungan TSS lumpur sebesar 73327,96 mg/L menjadi 38499,51 mg/L.

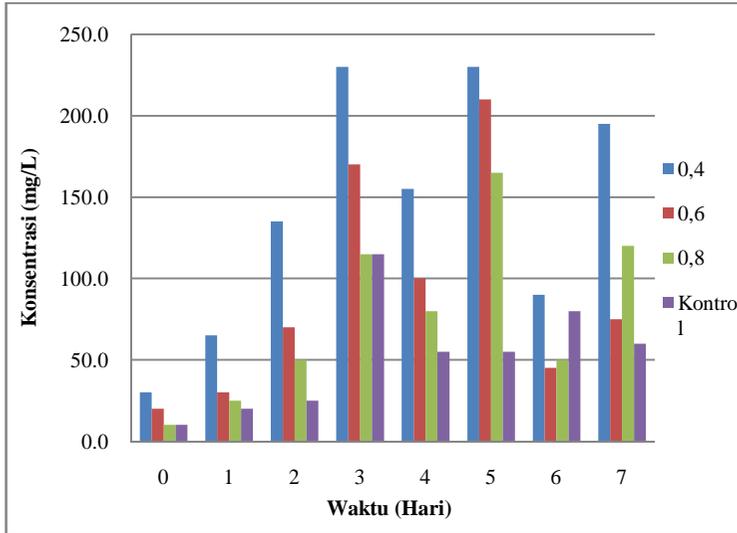
Perlakuan sama juga dilakukan pada variasi ke dua yakni analisis TSS di kompartemen air. Dalam hal ini peran material pembawa yang diharapkan dapat menjaga ekor cacing agar tetap menggantung dan dapat memisahkan fases dengan lumpur tidak dapat dilakukan. Pada kenyataannya dalam reaktor apabila digunakan material pembawa dengan ukuran sesuai tubuh cacing, cacing lebih memilih untuk turun dan berenang pada kompartemen air. Berdasarkan hal tersebut maka digunakanlah material pembawa dengan diameter lubang yang lebih kecil. Material pembawa yang digunakan sama seperti diameter material pembawa pada cacing *Tubifex sp.* perlakuan tersebut dilakukan untuk menjaga cacing tetap berada pada kompartemen lumpur selama proses reduksi. Pasokkan oksigen tetap bisa didapatkan karena air dapat masuk melalui pori-pori material pembawa. Dari data analisis TSS air akan didapatkan besar pelepasan TSS rata-rata per hari akibat hasil metabolisme yang di keluarkan oleh cacing *Lumbriculus sp.* Data analisis TSS dalam air pada variasi *Lumbriculus sp.* tersaji dalam Tabel. 4.12 dan Gambar 4.4.

**Tabel 4.12 Kandungan TSS pada air variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Konsentrasi (mg/L) air			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	10,0	30,0	20,0	10,0
1	20,0	65,0	30,0	25,0
2	25,0	135,0	70,0	50,0
3	115,0	230,0	170,0	115,0
4	55,0	155,0	100,0	80,0
5	55,0	230,0	210,0	165,0
6	80,0	90,0	45,0	50,0

Waktu (Hari)	Konsentrasi (mg/L) air			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
7	60,0	195,0	75,0	120,0

Sumber: Hasil analisis



**Gambar 4.4** Kandungan TSS pada air variasi *Lumbriculus sp.*

Dari data yang telah disajikan dalam Tabel 4.12 maupun grafik 4.4 di atas terlihat bahwa pada cacing *Lumbriculus sp.* terjadi kecenderungan peningkatan nilai TSS dalam kompartemen air. Hal yang sama juga terjadi pada reaktor tanpa penambahan cacing hal tersebut dikarenakan menurut Turovskiy dan Mathai (2006), Lumpur biologis juga mengandung bakteri yang mengkonsumsi bahan organik, sehingga terdapat pula adanya dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme atau bakteri yang terdapat pada lumpur. Peningkatan kandungan TSS dalam air tertinggi untuk variasi *Lumbriculus sp.* terjadi pada rasio w/s 0,8 yakni dari 10 mg/L menjadi 120 mg/L. Dari data ini juga dapat diketahui bahwa nilai peningkatan rata-rata pelepasan TSS

dalam air adalah sebesar 0,00197 mg TSS/mg *Lumbriculus sp.* setiap harinya.

Berdasarkan uraian di atas didapatkan pada rasio perbandingan w/s 0,4 persen removal cacing *Tubifex sp.* lebih besar dari cacing *Lumbriculus sp.* Persen removal yang didapatkan menunjukkan bahwa pada berat rasio perbandingan w/s yang sama, terdapat jumlah cacing yang berbeda. Seperti dalam satu gram *Tubifex sp.* terdiri 100 ekor cacing sedangkan dalam dalam satu gram *Lumbriculus sp.* terdiri dari 1 ekor cacing. Hal tersebut dikarenakan *Tubifex sp.* memiliki panjang 1-2 cm (Yulianingsih *et al.*, 2012) sedangkan *Lumbriculus sp.* memiliki panjang hingga 10 cm (Drewes dan Brinkhurst, 1990). Berdasarkan pada uraian diatas, dalam rasio w/s *Tubifex sp.* terdapat lebih banyak jumlah predator yang melakukan reduksi lumpur sehingga didapatkan persen removal lebih besar dibandingkan dengan *Lumbriculus sp.* Perbedaan perlakuan pada reaktor cacing turut membuat lebih tingginya persen removal *Tubifex sp.* yang didapat dibandingkan dengan *Lumbriculus sp.* sehingga tidak terjadi pemisahan lumpur dan feses dengan baik. Hal tersebut membuat sebagian feses yang dihasilkan tertahan pada kompartemen lumpur dan mempengaruhi hasil analisis TSS pada lumpur. Baik pada *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.* nilai maximum reduksi terletak pada rasio w/s 0,4. Hal tersebut dikarenakan menurut Elissen (2007), disebutkan bahwa penggunaan nilai rasio w/s terlalu besar akan semakin banyak polutan pengganggu sehingga membuat proses reduksi kurang optimal.

Secara garis besar reduksi lumpur yang dilakukan oleh cacing diubah menjadi senyawa yang sederhana sehingga, dapat dimanfaatkan oleh cacing sebagai sumber makanan serta nutrisi dalam melakukan pembentukan biomassa baru dan sebagian dirubah menjadi feses (Hendrickx *et al.*, 2010a). Menurut Buys (2005) dalam Elissen *et al.*, (2007), menemukan sebanyak 20-40% dari keseluruhan total lumpur yang dicerna oleh cacing diubah menjadi biomassa cacing. Hal tersebut dibuktikan dengan ditemukannya beberapa kokon telur cacing yang terbungkus pada saat pengambilan *sampel* lumpur sebelum dianalisis (Gambar

terlampir pada lampiran B nomor 13). Penambahan berat pada cacing dalam penelitian ini menunjukkan terjadinya pembentukan biomassa yang dapat dilakukan oleh cacing selama proses reduksi. Tabel 4.13 menyajikan pertambahan berat pada cacing *Lumbriculus sp.* selama penelitian berlangsung.

**Tabel 4.13 Pertambahan berat cacing *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Berat cacing (gram)		
	Rasio w/s		
	0,4	0,6	0,8
0	5,2803	7,5375	10,2657
1	5,8000	8,7019	10,3493
2	5,2745	8,5030	11,2494
3	5,8330	7,9552	10,4181
4	5,3786	7,5494	10,4761
5	5,0009	7,8360	10,0441
6	5,2904	7,6509	9,8665
7	4,8655	7,4511	10,0481

Sumber: Hasil analisis

Data di atas didapatkan dari penimbangan cacing yang dilakukan setiap harinya pada saat pengambilan *sampling* lumpur dan air sebelum analisis TSS maupun COD. Didapatkan hasil pertambahan berat cacing *Lumbriculus sp.* yang bervariasi namun memiliki kecenderungan peningkatan. Penurunan berat cacing *Lumbriculus sp.* pada hari ke-7 dikarenakan terdapat beberapa telur cacing yang terlepas pada saat sebelum dilakukan penimbangan. Sehingga hal tersebut membuat berkurangnya perhitungan berat cacing yang didapatkan. Peningkatan berat untuk cacing *Tubifex sp.* tidak bisa didapatkan, dikarenakan ukuran *Tubifex sp.* terlalu kecil dan halus membuat cacing yang menempel pada lumpur cukup sulit untuk dipisahkan. Terlebih lagi dengan ukuran tubuh yang dimiliki *Tubifex sp.* sangatlah halus sehingga membuat cacing dapat masuk pada sela-sela material pembawa dan tidak bisa dikeluarkan untuk dilakukan

penimbangan. Berdasarkan pemaparan alasan di atas, maka tidak dapat dilakukan penimbangan pada seluruh cacing *Tubifex sp.* yang terdapat dalam reaktor setelah melakukan proses reduksi lumpur. Hal tersebut membuat terjadinya kecenderungan penurunan berat cacing *Tubifex sp.* selama penelitian. Tabel 4.14 akan menyajikan penimbangan berat cacing *Tubifex sp.* selama penelitian.

**Tabel 4.14 Berat cacing *Tubifex sp.* selama penelitian**

Waktu (Hari)	Berat cacing (gram)		
	Rasio w/s		
	0,4	0,6	0,8
0	10,3087	15,2120	20,0557
1	3,2143	3,129	4,125
2	2,2643	2,7996	4,3053
3	3,3766	3,6148	4,2442
4	2,3035	6,8651	11,6287
5	3,9505	5,784	7,2675
6	3,6635	2,7876	6,6311
7	3,668	8,0648	2,69

Sumber: Hasil analisis

Secara garis besar terjadi peningkatan kandungan TSS terjadi dalam kompartemen air baik pada cacing *Tubifex sp* maupun *Lumbriculus sp.* Peningkatan tersebut disebabkan oleh ekskresi yang dilakukan oleh cacing untuk melepaskan produk hasil metabolisme akibat proses reduksi lumpur. Hal yang sama juga terjadi pada reaktor kontrol hal tersebut dikarenakan adanya dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme yang terdapat pada lumpur. kandungan TSS terjadi pada rasio w/s tertinggi (0,8) karena pada rasio tersebut jumlah cacing yang digunakan lebih banyak dari pada 0,4 dan 0,6 sehingga konsentrasi produk hasil metabolisme yang di keluarkan lebih besar dari rasio lainnya.

Menurut Turovskiy dan Mathai (2006), lumpur biologis lebih sulit mengalami pengendapan dan dikeringkan karena flok

yang terdapat dalam lumpur biologis ringan sehingga sulit terpisah. Lumpur yang dirubah menjadi feses memiliki nilai SVI yang lebih tinggi (Elissen *et al.*, 2007). Menurut Sanin *et al.*, (2011) semakin tinggi nilai SVI pada suatu lumpur, maka semakin cepat pula terjadinya pengendapan. Berdasarkan uraian di atas maka, lumpur yang diubah menjadi feses dapat membantu meningkatkan kecepatan pengendapan dalam proses pengolahan.

#### 4.3 Hasil Analisis Parameter COD

Analisis kandungan COD digunakan sebagai cerminan dari kualitas lumpur hasil reduksi cacing, karena nilai COD dapat menunjukkan kandungan zat organik yang terdapat di dalam lumpur. Nilai COD juga digunakan untuk mengetahui berapa besar kandungan substrat dalam lumpur yang dapat dimanfaatkan oleh cacing. Substrat bagi cacing memiliki fungsi penting yakni sebagai sumber energi, bahan pembentuk sel dan produk metabolisme. Selain itu nilai COD juga bermanfaat untuk mengetahui berapa besar pelepasan hasil dari metabolisme cacing dalam bentuk feses selama proses reduksi. Pengambilan sampel untuk analisis COD dilakukan pada kompartemen lumpur dan kompartemen air. analisis COD pada kompartemen lumpur bertujuan untuk mengetahui seberapa besar bahan organik dalam lumpur yang dimanfaatkan maupun ditambahkan oleh cacing.

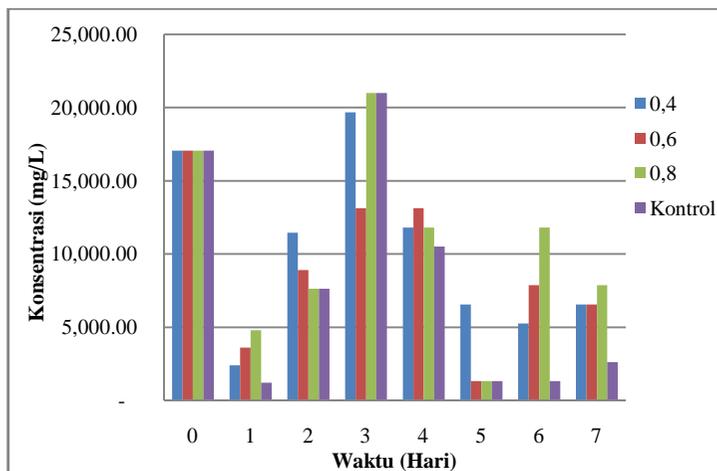
Analisis dilakukan terlebih dahulu pada cacing *Tubifex sp.* sebagai variasi pertama. Hasil pengamatan visual yang dilakukan selama penelitian, cacing *Tubifex sp.* memiliki kecenderungan untuk bersatu membuat koloni-koloni sehingga susah dipisahkan. Hal tersebut membuat feses yang dikeluarkan berada pada lapisan bawah koloni karena tumpang tindih cacing satu dengan lainnya. Secara kasat mata, bentuk feses cacing dengan lumpur dibedakan namun memiliki SVI yang berberda. Hal tersebut juga turut membuat feses yang dihasilkan tercampur dengan lumpur yang direduksi. Sehingga dilakukan homogenisasi pada lumpur terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis. Tabel 4.15 menyajikan kandungan zat organik yang terdapat dalam lumpur dengan penambahan cacing *Tubifex sp.* menggunakan parameter COD.

**Tabel 4.15 Konsentrasi COD lumpur variasi *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	Konsentrasi COD (mg/L) Lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	17062,50	17062,50	17062,50	17062,50
1	1200,00	2400,00	3600,00	4800,00
2	7636,36	11454,55	8909,09	7636,36
3	21000,00	19687,50	13125,00	21000,00
4	10500,00	11812,50	13125,00	11812,50
5	1312,50	6562,50	1312,50	1312,50
6	1312,50	5250,00	7875,00	11812,50
7	2625,00	6562,50	6562,50	7875,00

Sumber: Hasil analisis

Data-data analisis COD dalam lumpur dengan variasi cacing *Tubifex sp.* pada Tabel 4.15 akan disajikan dalam bentuk grafik. Hal tersebut bertujuan agar dapat memperjelas kecenderungan hasil yang diperoleh, Berikut adalah grafik Tabel 4.15 dalam Gambar 4.5.

**Gambar 4.5 Kandungan COD lumpur variasi *Tubifex sp.***

Dari data yang telah disajikan dalam tabel maupun grafik di atas terlihat bahwa pada cacing *Tubifex sp.* terjadi kecenderungan penurunan nilai COD dalam lumpur. Didapatkan pula nilai persen removal rata-rata pada masing-masing rasio perbandingan dan kontrol yang tersaji dalam Tabel 4.16.

**Tabel 4.16 Persentase removal COD lumpur variasi *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	% Removal COD Lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
1	93%	86%	79%	72%
2	55%	33%	48%	55%
3	-23%	-15%	23%	-23%
4	38%	31%	23%	31%
5	92%	62%	92%	92%
6	92%	69%	54%	31%
7	85%	62%	62%	54%
Rata-rata	62%	47%	54%	45%

Dari data yang telah disajikan di atas menunjukkan bahwa pada cacing *Tubifex sp.* terjadi kecenderungan penurunan nilai COD dalam lumpur. Dengan nilai persentase rata-rata removal pada masing-masing reaktor adalah 62% untuk reaktor kontrol; 47% untuk rasio 0,4; 54% untuk rasio 0,6; dan 45% untuk rasio 0,8. Namun apabila dibandingkan dengan reaktor tanpa penambahan cacing, reaktor kontrol memiliki persen removal yang lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor lainnya. Reaktor kontrol dapat mereduksi COD dari 17062,50 mg/L menjadi 2625,00 mg/L sedangkan reaktor dengan penambahan cacing hanya dapat mereduksi COD dari 17062,50 mg/L menjadi 6562,50 – 7875,00 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa reduksi dengan menggunakan cacing turut memberikan tambahan kandungan zat organik dalam lumpur. Guna mengetahui besar

kandungan lumpur yang diberikan cacing, maka dilakukan pengurangan terhadap nilai removal masing-masing rasio dengan nilai removal reaktor kontrol. Diperoleh persentase penambahan nilai zat organik akibat aktivitas cacing dalam lumpur selama proses reduksi sebesar 15% pada rasio 0,4; 7% pada rasio 0,6; dan 17% pada rasio 0,8.

Penambahan zat organik pada lumpur ini dikarenakan tidak semua cacing *Tubifex sp.* menggantungkan ekornya pada material pembawa. Cacing *Tubifex sp.* memiliki kecenderungan untuk hidup berkoloni (Yulianingsih *et al.*, 2012), Sehingga menyebabkan terjadi penumpukan cacing dalam kerumunan. Hal tersebut membuat tidak sempurnanya pemisahan hasil metabolisme cacing keluar menuju kompartemen air selama proses reduksi. Terdapat sisa hasil metabolisme cacing dalam bentuk feses yang tertahan pada kompartemen lumpur sehingga membuat kenaikan nilai COD. Penambahan kandungan COD pada lumpur terbesar berada pada rasio perbandingan w/s 0,8. Nilai pelepasan rata-rata COD dalam lumpur sebesar 6,35 mg COD/mg *Tubifex sp.*

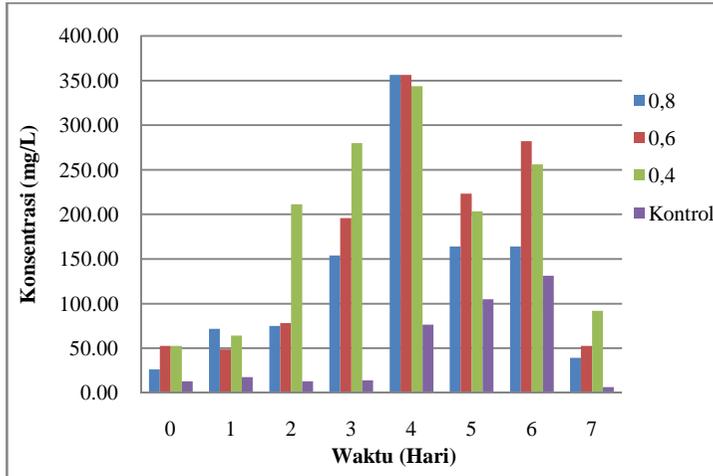
Pelepasan zat organik sebagai hasil dari metabolisme cacing juga terjadi pada kompartemen air. Hal tersebut dikarenakan terdapat pula sebagian cacing yang menggantungkan ekornya. Berdasarkan uraian tersebut perlu dilakukan pula analisis COD pada kompartemen air. Hasil analisis COD dalam air ini akan disajikan pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.6.

**Tabel 4.17 Konsentrasi COD dalam air variasi *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	Konsentrasi COD (mg/L) Air			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,8	0,6	0,4
0	13,13	26,25	52,50	52,50
1	17,50	71,71	48,66	64,02
2	13,04	75,10	78,26	211,39
3	14,00	154,00	196,00	280,00
4	76,36	356,36	356,36	343,64
5	105,00	164,06	223,13	203,44

Waktu (Hari)	Konsentrasi COD (mg/L) Air			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,8	0,6	0,4
6	131,25	164,06	282,19	255,94
7	6,56	39,38	52,50	91,88

Sumber: Hasil analisis



**Gambar 4.6** Kandungan COD dalam air variasi *Tubifex sp.*

Tabel 4.17 dan Gambar 4.6 menampilkan kecenderungan peningkatan kandungan COD pada kompartemen air, Peningkatan kandungan COD dalam air tertinggi untuk variasi *Tubifex sp.* terjadi pada rasio w/s 0,8. Dari data ini juga dapat diketahui bahwa nilai peningkatan rata-rata pelepasan COD dalam air adalah sebesar 0,001684 mg TSS/mg *Tubifex sp.* setiap harinya. Baik dalam kompartemen lumpur maupun air terjadi peningkatan nilai COD tertinggi pada rasio perbandingan w/s 0,8. Hal tersebut dikarenakan penambahan cacing paling banyak diberikan pada rasio perbandingan w/s 0,8 sehingga produk hasil metabolisme yang dihasilkan juga banyak.

Variasi kedua yang digunakan adalah jenis cacing akuatik *Lumbriculus sp.* Pengamatan visual yang dilakukan selama

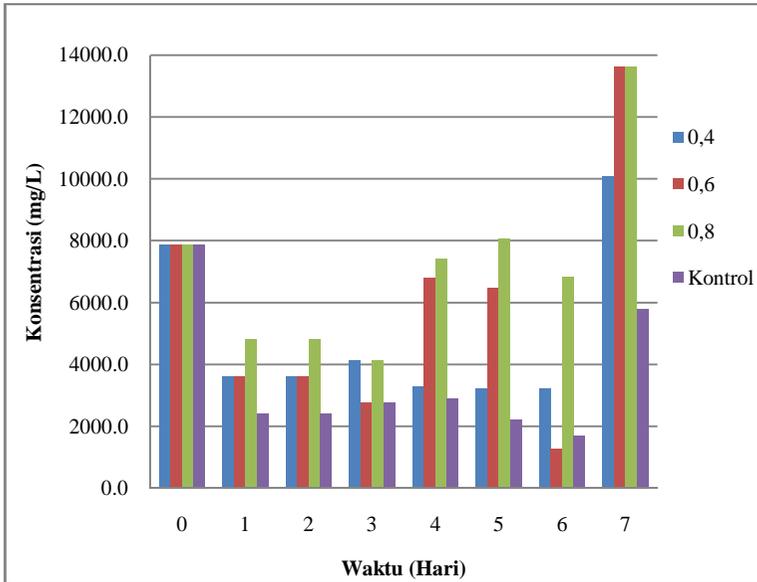
pengamatan didapatkan bahwa cacing dapat merambat pada dinding reaktor. Sehingga pada mulut kompartemen lumpur diberikan penutup agar cacing tidak keluar melalui dinding reaktor. Pada *running* ke dua ini digunakan diameter partikel pembawa sesuai dengan diameter partikel yang digunakan oleh cacing *Tubifex sp.* Hal tersebut dilakukan untuk menjaga cacing *Lumbriculus sp.* agar tetap berada pada kompartemen lumpur karena dengan penggunaan diameter partikel pembawa yang lebih besar (sesuai dengan diameter cacing) *Lumbriculus sp.* dapat turun ke bawah dan berenang. Pemberian perlakuan pada *running* ke dua ini membuat ekor *Lumbriculus sp.* tidak dapat keluar ke kompartemen air. Namun suplay oksigen tetap bisa diberikan, karena air dapat masuk melalui diameter partikel pembawa. Hasil analisis COD dalam lumpur akan disajikan pada Tabel 4.18.

**Tabel 4.18 Kandungan COD lumpur variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Konsentrasi COD (mg/L) Lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8
0	7875,0	7875,0	7875,0	7875,0
1	2400,0	3600,0	3600,0	4800,0
2	2400,0	3600,0	3600,0	4800,0
3	2754,1	4131,1	2754,1	4131,1
4	2896,6	3294,1	6794,1	7411,8
5	2221,2	3230,8	6461,5	8076,9
6	1702,7	3230,8	1277,0	6810,8
7	5793,1	10090,1	13621,6	13621,6

Sumber: Hasil analisis

Data dari analisis COD dalam lumpur dengan variasi cacing *Lumbriculus sp.* pada Tabel 4.18 memiliki nilai yang cukup berfluktuatif. Hal ini bisa terjadi disebabkan pengaruh dari beberapa faktor, salah satunya adalah faktor lingkungan terhadap metabolisme cacing dalam mereduksi lumpur. Guna memperjelas kecenderungan hasil yang didapatkan dalam Tabel 4.18 maka akan disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7 Kandungan COD lumpur variasi *Lumbriculus sp.***

Dari data yang telah disajikan dalam Tabel 4.18 maupun grafik pada Gambar 4.7 di atas, terlihat bahwa lumpur dengan penambahan cacing *Lumbriculus sp.* memiliki nilai COD yang cukup fluktuatif. Namun dapat terjadi kecenderungan penurunan nilai COD pada masing-masing reaktor, baik dengan atau tanpa penambahan cacing. Didapatkan pula nilai persen removal rata-rata pada masing-masing rasio perbandingan w/s dan kontrol yang tersaji dalam Tabel 4.19.

**Tabel 4.19 Persentase removal COD lumpur variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	% Removal COD Lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0.4	0.6	0.8
1	70%	54%	54%	39%
2	70%	54%	54%	39%

Waktu (Hari)	% Removal COD Lumpur			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0.4	0.6	0.8
3	65%	48%	65%	48%
4	63%	58%	14%	6%
5	72%	59%	18%	-3%
6	78%	59%	84%	14%
7	26%	-28%	-73%	-73%
Rata-rata	63%	43%	31%	10%

Sumber: Hasil analisis

Dari data yang telah disajikan diatas menunjukkan bahwa pada cacing *Lumbriculus sp.* terjadi kecenderungan penurunan nilai COD dalam lumpur. Dengan nilai persentase rata-rata removal pada masing-masing reaktor adalah 63% untuk reaktor kontrol; 43% untuk rasio 0,4; 31% untuk rasio 0,6; dan 10% untuk rasio 0,8. Sama halnya variasi cacing *Tubifex sp.* jika dibandingkan dengan reaktor tanpa penambahan cacing, reaktor kontrol memiliki persen removal yang lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor lainnya. Reaktor kontrol dapat mereduksi COD dari 7875 mg/L menjadi 5793,10 mg/L sedangkan reaktor dengan penambahan cacing hanya dapat mereduksi COD dari 7875 mg/L menjadi 10090,10 – 13621,60 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa reduksi dengan menggunakan cacing turut memberikan tambahan kandungan zat organik dalam lumpur. Guna mengetahui besar kandungan lumpur yang diberikan cacing, maka dilakukan pengurangan terhadap nilai removal masing-masing rasio dengan nilai removal reaktor kontrol. Diperoleh persentase penambahan nilai zat organik akibat aktivitas cacing dalam lumpur selama proses reduksi sebesar 20% pada rasio 0,4; 33% pada rasio 0,6; dan 53% pada rasio 0,8. Penambahan zat organik pada lumpur ini dikarenakan tidak terjadinya pemisahan antara lumpur dan hasil metabolisme cacing dengan baik. Hal tersebut dikarenakan ekor cacing tidak tergantung sehingga hasil metabolisme cacing tertahan pada kompartemen lumpur. Penambahan kandungan COD pada lumpur terbesar berada pada

rasio perbandingan w/s 0,8. Nilai pelepasan rata-rata COD dalam lumpur sebesar 32,68 mg COD/mg *Lumbriculus sp.*

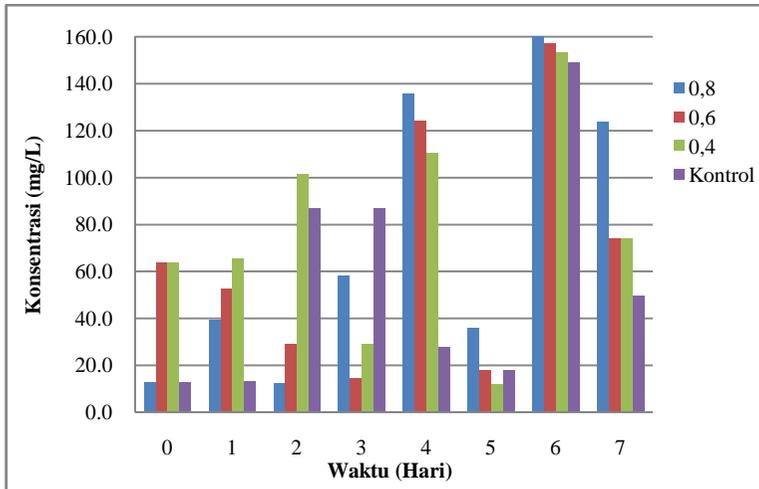
Pelepasan zat organik sebagai hasil dari metabolisme cacing juga terdapat pada kompartemen air. Hal tersebut dikarenakan menurut Pelczar (2008), hasil metabolisme yang di keluarkan oleh cacing berupa feses dan sejenis cairan yang mengandung zat organik. Senyawa zat organik sendiri dapat berupa partikel tersuspensi maupun terlarut (Sawyer *et al.*, 2005), sehingga dapat terlepas dan bercampur dengan air. Berdasarkan uraian di atas perlu dilakukan pula analisis COD pada kompartemen air. Hasil analisis COD dalam air variasi cacing *Lumbriculus sp.* disajikan pada Tabel 4.20.

**Tabel 4.20 Kandungan COD air variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Konsentrasi COD (mg/L) Air			
	Kontrol	Rasio w/s		
		0,8	0,6	0,4
0	12,7	12,7	63,6	63,6
1	13,1	39,4	52,5	65,6
2	86,9	12,4	29,0	101,4
3	86,9	57,9	14,5	29,0
4	27,5	135,9	123,9	110,2
5	18,0	36,0	18,0	12,0
6	149,2	160,9	157,0	153,1
7	49,4	123,5	74,1	74,1

Sumber: Hasil analisis

Dari data yang telah disajikan dalam Tabel 4.20 didapatkan nilai kandungan COD air dengan variasi cacing *Lumbriculus sp.* cukup fluktuatif. Namun dapat terjadi kecenderungan kenaikan nilai COD pada masing-masing reaktor. Kenaikan nilai COD disebabkan oleh kandungan zat organik yang dihasilkan cacing kemudian terlepas pada kompartemen air. Guna memperjelas data pada Tabel 4.20 maka akan di sajikan dalam bentuk grafik dalam Gambar 4.8.



**Gambar 4.8 Kandungan COD air variasi *Lumbriculus sp.***

Kecenderungan peningkatan kandungan COD pada kompartemen air ditunjukkan pada Gambar 4.8. Peningkatan kandungan COD dalam air tertinggi untuk variasi *Tubifex sp.* terjadi pada rasio w/s 0,8. Dari data ini juga dapat diketahui bahwa nilai peningkatan rata-rata pelepasan COD dalam air adalah sebesar 0,00185 mg TSS/mg *Tubifex* setiap harinya.

Terjadi kecenderungan peningkatan konsentrasi COD dalam kompartemen lumpur maupun air dikarenakan ekskresi yang dihasilkan oleh cacing dan bakteri ketika mendekomposisi bahan organik (Oswald *et al.*, 1957). Dibandingkan dengan cacing *Tubifex sp.*, *Lumbriculus sp.* memiliki nilai peningkatan kandungan COD pada lumpur yang lebih tinggi. Hal tersebut dikarenakan hasil sisa metabolisme cacing lebih banyak tertahan pada saat *running* cacing *Lumbriculus sp.* Baik pada cacing *Tubifex sp.* dan *Lumbriculus sp.* peningkatan kandungan COD terbesar terjadi pada rasio perbandingan w/s 0,8. Hal tersebut terjadi karena pada rasio tersebut jumlah cacing yang digunakan lebih banyak dari pada 0,4 dan 0,6 sehingga konsentrasi produk hasil metabolisme yang di keluarkan lebih besar dari rasio lainnya.

Dari data yang didapatkan pada analisis TSS dan COD dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penggunaan rasio perbandingan w/s, maka semakin tinggi pula penambahan zat organik pada lumpur. Hal tersebut berbanding terbalik dengan penyisihan kandungan TSS dalam lumpur, semakin tinggi penggunaan rasio perbandingan w/s, maka semakin kecil pula persentase reduksi yang dapat dilakukan oleh cacing.

#### 4.4 Kesetimbangan Massa Dalam Reaktor

Sama halnya dengan pengolahan lumpur pada umumnya, terdapat perhitungan kesetimbangan massa dikarenakan selama proses reduksi terjadi perubahan senyawa kompleks dalam lumpur menjadi senyawa yang lebih sederhana. Perubahan tersebut terjadi karena pada dasarnya lumpur yang tereduksi digunakan cacing untuk melakukan pembentukan biomassa dan sebagian dilepaskan sebagai hasil dari metabolisme. Apabila dilakukan perhitungan kesetimbangan massa maka, konsentrasi TSS lumpur yang tereduksi sama dengan konsentrasi TSS yang dilepaskan cacing ditambah dengan konsentrasi TSS yang digunakan cacing. Contoh perhitungan akan dilakukan pada variasi cacing *Tubifex sp.* rasio w/s 0,4. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan kesetimbangan massa yang dilakukan pada penelitian ini:

Perhitungan massa TSS dalam kompartemen lumpur

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS hari-0} &= \text{Konsentrasi TSS} \times \text{volume lumpur} \\ &= 85977,48 \text{ mg/L} \times 0,08 \text{ L} \\ &= 6878,20 \text{ mg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS hari-1} &= \text{Konsentrasi TSS} \times \text{volume lumpur} \\ &= 61850,80 \text{ mg/L} \times 0,08 \text{ L} \\ &= 4948,06 \text{ mg.} \end{aligned}$$

Perhitungan massa TSS dalam kompartemen air

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS hari-0} &= \text{Konsentrasi TSS} \times \text{volume air} \\ &= 45,00 \text{ mg/L} \times 3,9 \text{ L} \\ &= 175,50 \text{ mg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS hari-1} &= \text{Konsentrasi TSS} \times \text{volume air} \\ &= 45,00 \text{ mg/L} \times 3,9 \text{ L} \\ &= 175,50 \text{ mg.} \end{aligned}$$

Cara yang sama juga dilakukan pada hasil analisis selanjutnya dengan rasio w/s 0,6 dan 0,8 serta jenis cacing *Lumbriculus sp.* Rekapitulasi massa pada masing-masing konsentrasi dipaparkan dalam lampiran C Tabel 1. Guna mengetahui besar massa TSS yang tereduksi dan pelepasannya maka dilakukan pengurangan antara massa hari-0 dengan massa hari-1. Seperti yang telah dijelaskan pada sebelumnya bahwa cacing memanfaatkan zat organik dan nutrient yang terkandung dalam lumpur sebagai pembentukan biomassa. Berdasarkan hal tersebut dilakukan pula pengurangan antara selisih massa TSS pada kompartemen lumpur dengan selisih massa TSS pada kompartemen air guna mengetahui berapa besar massa yang digunakan oleh cacing. Massa yang digunakan oleh cacing membuat pertambahan berat pada cacing. Tidak dapat diperolehnya data pertambahan berat pada cacing membuat tidak dapat dilakukannya pengkajian terhadap konversi besar massa yang digunakan menjadi berat cacing. Berikut adalah cara perhitungan massa yang tereduksi antara lumpur, air, dan cacing.

Massa TSS yang tereduksi dalam kompartemen lumpur.

= Massa TSS lumpur hari 0 - massa TSS lumpur hari 1

= 6878,20 mg – 4948,06 mg

= 1930,13 mg

Massa TSS yang terlepas dalam kompartemen air.

= Massa TSS air hari 0 - massa TSS air hari 1

= 175,00 mg – 175,00 mg

= 0 mg

Massa TSS yang dimanfaatkan cacing

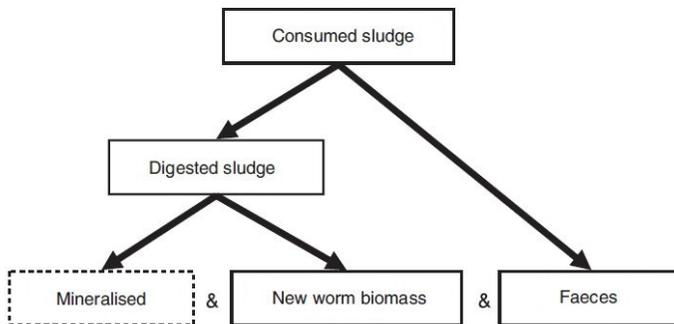
= massa TSS yang tereduksi – massa TSS yang terlepas

= 1930,13 mg – 0 mg

= 1930,13 mg

Rekapitulasi perhitungan keseimbangan massa TSS ini disajikan dalam Tabel 2 pada lampiran C. Dengan cara yang sama perhitungan kesetimbangan massa juga dilakukan pada parameter COD. Rekapitulasi kesetimbangan massa COD disajikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4 pada lampiran C. Terdapat beberapa nilai minus pada data perhitungan nilai COD. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan dari senyawa organik menjadi

senyawa anorganik akibat proses mineralisasi dalam proses reduksi lumpur (Elissen *et al.*, 2006). Gambar 4.9 akan menyajikan kesetimbangan massa akibat konsumsi lumpur yang dapat dilakukan oleh cacing akuatik.



**Gambar 4.9** mass balance konsumsi lumpur oleh cacing  
Sumber: Elissen *et al.*, (2006)

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. *Tubifex sp.* dapat mereduksi kandungan TSS lumpur dari 85977,48 mg/L menjadi 21739,13 mg/L dan cacing *Lumbriculus sp.* dapat mereduksi TSS lumpur dari 73327,96 mg/L menjadi 38499,51 mg/L. Rata-rata pelepasan TSS dalam air adalah 0,00275 mg TSS/mg *Tubifex sp.* per hari dan 0,00197 mg TSS/mg *Lumbriculus sp.* per hari.
2. Penambahan kandungan nilai COD dalam lumpur hingga 17% pada cacing *Tubifex sp.* dan 53% pada cacing *Lumbriculus sp.* Tingkat pelepasan kandungan nilai COD dalam air 0,00168 mg COD/mg *Tubifex sp.* dan 0,00185 mg COD/mg *Lumbriculus sp.* setiap harinya.
3. Rasio 0,4 memiliki kemampuan tertinggi dalam mereduksi lumpur, sedangkan rasio w/s 0,8 memiliki kontribusi tertinggi dalam penambahan zat organik.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan pengkajian lebih dalam terhadap penggunaan reaktor dengan sistem *batch* mengenai penggunaan material pembawa dengan perilaku yang dimiliki cacing.
2. Perlu dilakukan pengkajian terhadap perkembangan cacing selama proses reduksi. Hal tersebut bertujuan untuk dapat memantau bagaimana laju perkembangan biakan cacing yang telah memanfaatkan zat organik dalam lumpur.
3. Perlu diketahui bagaimana kesetimbangan massa yang terjadi dalam proses reduksi lumpur oleh cacing.
4. Perlu dilakukan pengkajian terkait penerapan pada skala lapangan.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## LAMPIRAN

### Lampiran A

#### Prosedur Pembuatan Reagen Dan Analisis Parameter

##### A. Analisis COD (Metode *Closed Reflux*)

Prosedur pembuatan reagen

1. *Digestion Solution* ( $K_2Cr_2O_7$ )  
Siapkan 5 gr  $K_2Cr_2O_7$  yang telah dikeringkan selama 2 jam pada suhu  $105^\circ C$ , 167 mL  $H_2SO_4$  pekat, dan 3,33 gr  $HgSO_4$ . Kemudian larutkan dengan aquadest hingga 1000mL,
2. Larutan asam sulfat – perak sulfat  
Tambahkan 5,5 gr  $Ag_2SO_4$  dalam 1 kg  $H_2SO_4$  pekat, aduk dan biarkan 1-2 hari untuk melarutkan,
3. Larutan standard Ferro Ammonium Sulfat (FAS)  
Larutkan 39,2 gr  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  dalam 500 ml air suling, kemudian tambahkan 20 mL  $H_2SO_4$  pekat lalu dinginkan,
4. Larutan indikator Fenatrolin Fero Sulfat (Feroin)

Peralatan

1. Pemanas
2. Pipet
3. Buret dan statis
4. Erlenmeyer
5. Tabung COD

Prosedur analisis

1. Ambil 2,5 mL sampel dan masukkan ke tabung COD
2. Tambahkan 1,5 mL *Digestion Solution* ( $K_2Cr_2O_7$ )
3. Tambahkan 3,5 mL larutan campuran  $AgSO_4$  dan  $H_2SO_4$
4. Dinginkan dan pastikan tabung tertutup sempurna kemudian bersihkan dinding tabung hingga tidak ada cairan yang menempel,
5. Panaskan selama 2 jam menggunakan kompor listrik kemudian dinginkan hingga mencapai suhu ruang,
6. Pindahkan sampel ke Erlenmeyer kemudian tambahkan 1-2 tetes indikator ferroin,

7. Titrasi dengan FAS 0,1 M hingga warna berubah menjadi merah kecoklatan dan catat nilai titran yang digunakan serta hitung konsentrasi COD dengan rumus:

$$\text{COD (mg} \frac{\text{O}_2}{\text{L}}) = \frac{(A - B) \times M \times 280}{\text{mL sampel}}$$

## B. ANALISIS Total Suspended Solid (TSS)

### Peralatan

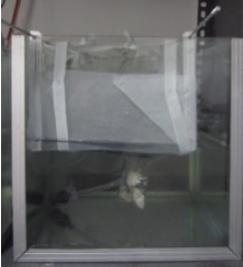
1. Kertas saring
2. Vacuum filter
3. Cawan petri
4. Pipet

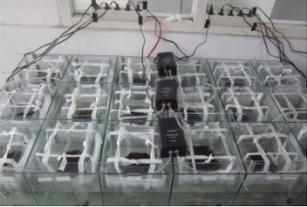
### Prosedur analisis

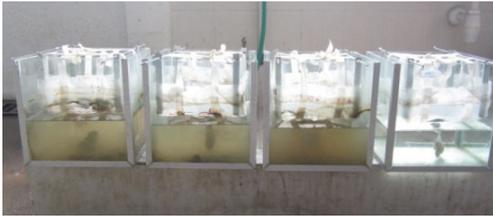
1. Masukkan kertas saring pada oven 105°C selama 1 jam, kemudian didesikator 15 menit,
2. Cawan dan kertas saring ditimbang bersamaan dengan menggunakan neraca analitik, Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai a (mg), dan hasil penimbangan kertas saring dicatat sebagai b (mg), Kertas saring yang telah ditimbang diletakkan pada vacuum filter,
3. Sampel disaring dengan menggunakan vacuum filter yang telah dipasang kertas saring yang telah ditimbang, Sampel disaring hingga kering, Dicatat volume sampel yang disaring sebagai c (ml),
4. Diambil kertas saring yang telah digunakan pada langkah 4 kemudian diletakan pada cawan yang sama dengan yang digunakan pada langkah 2,
5. Cawan yang berisi kertas saring dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam kemudian desikator selama 15 menit,
6. Cawan yang berisi kertas saring ditimbang dengan menggunakan neraca analitik, Hasil penimbangan dicatat sebagai d (mg),
7. Dihitung jumlah zat padat tersuspensi (TSS) dalam sampel dengan rumus :

$$\text{TSS (mg/l)} = \frac{(d - (a + b))}{c} \times 1000$$

**Lampiran B**  
**Foto Pelaksanaan Penelitian**

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Mempersiapkan dan merangkai reaktor.</p>
2		<p>Cacing <i>Tubifex sp.</i> yang digunakan.</p>
3		<p>Cacing <i>Lumbriculus sp.</i> yang digunakan.</p>
4		<p>Mencuci cacing selama 24 jam sebelum digunakan untuk mereduksi lumpur.</p>

No	Gambar	Keterangan
5		<p>Menimbang cacing akuatik <i>Tubifex sp.</i> dan <i>Lumbriculus sp.</i></p>
6		<p>Memasukkan cacing yang sudah ditimbang pada reaktor</p>
7		<p>Memasukkan lumpur yang telah direncanakan pada reaktor</p>
8		<p>Reaktor untuk variasi pertama siap untuk di jalankan.</p>
9		<p>Reaktor untuk variasi kedua siap untuk di jalankan.</p>

No	Gambar	Keterangan
10		Kondisi reaktor tanpa cacing sebagai kontrol
11		Ekor cacing yang bergelantungan pada material pembawa.
12		Hasil reduksi lumpur oleh cacing dengan menggunakan variasi <i>Tubifex sp.</i> pada hari ke 7
13		Hasil reduksi lumpur oleh cacing dengan menggunakan variasi <i>Lumbriculus sp.</i> pada hari ke 7

No	Gambar	Keterangan
14		Hasil biomassa cacing <i>Lumbriculus sp.</i> (Telur cacing yang terbungkus kokon)
15		<i>Tubifex sp.</i> mulai bergerak mendekati lumpur yang diberikan.

**LAMPIRAN C**  
**Tabel Hasil Pengamatan**

**Tabel 1. Rekapitulasi massa TSS**

Jenis Cacing	Massa di lumpur			Massa di air		
	Rasio w/s					
	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8
<i>Tubifex sp.</i>	6878.2	6878.2	6878.2	175.50	156.00	39.00
	4948.06	4971.75	4784.97	175.50	195.00	214.50
	3407.23	3628.87	5360.34	175.50	273.00	546.00
	3950.62	4176.94	4654.01	273.00	370.50	975.00
	3541.81	1980.2	4318.94	390.00	487.50	994.50
	4981.68	4262.3	4549.76	1131.00	1599.00	1521.00
	1734.75	3161.09	2200.96	877.50	1872.00	1774.50
	1739.13	4480.52	4164.86	663.00	975.00	624.00
<i>Lumbriculus sp.</i>	5866.24	5866.24	5866.24	117.00	78.00	39.00
	2958.49	5405.41	5457.18	253.50	117.00	97.50
	857.7	5212.12	2666.67	526.50	273.00	195.00
	4444.44	4314.19	4193.55	897.00	663.00	448.50
	3131.67	1789.14	2380.17	604.50	390.00	312.00
	1403.51	2167.04	425.53	897.00	819.00	643.50
	4641.98	3139.24	4916.94	351.00	175.50	195.00
	3079.96	3037.97	881.36	760.50	292.50	468.00

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 2. Rekapitulasi massa COD**

Jenis Cacing	Massa di lumpur			Massa di air		
	Rasio w/s					
	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8
<i>Tubifex sp.</i>	1365	1365	1365	204.75	204.75	102.38
	192	288	384	249.7	189.77	279.66
	916.36	712.73	610.91	824.42	305.22	292.89
	1575	1050	1680	1092	764.4	600.6
	945	1050	945	1340.18	1389.82	1389.82
	525	105	105	793.41	870.19	639.84
	420	630	945	998.16	1100.53	639.84
	525	525	630	358.31	204.75	153.56
<i>Lumbriculus sp.</i>	157.5	157.5	157.5	248.18	248.18	49.64
	72	72	96	255.94	204.75	153.56
	72	72	96	395.38	112.97	48.18
	82.62	55.08	82.62	112.97	56.48	225.93
	65.88	135.88	148.24	429.64	483.34	529.94
	64.62	129.23	161.54	46.8	70.2	140.4
	64.62	25.54	136.22	597.03	612.34	627.64
	201.8	272.43	272.43	289.06	289.06	481.76

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 3. Selisih massa TSS pada lumpur, air, dan cacing**

Jenis Cacing	Rasio w/s								
	0,4			0,6			0,8		
	Lumpur	air	cacing	Lumpur	air	cacing	Lumpur	air	cacing
<i>Tubifex sp.</i>	1930.13	0	1930.13	1906.45	39	1867.45	2093.23	175.5	1917.73
	3470.96	0	3470.96	3249.33	117	3132.33	1517.86	507	1010.86
	2927.58	97.5	2830.08	2701.26	214.5	2486.76	2224.19	936	1288.19
	3336.39	214.5	3121.89	4898	331.5	4566.5	2559.26	955.5	1603.76
	1896.51	955.5	941.01	2615.9	1443	1172.9	2328.44	1482	846.44
	5143.45	702	4441.45	3717.1	1716	2001.1	4677.24	1735.5	2941.74
	5139.07	487.5	4651.57	2397.68	819	1578.68	2713.34	585	2128.34
<i>Lumbriculus sp.</i>	2907.75	136.5	2771.25	460.83	39	421.83	409.05	58.5	350.55
	5008.54	409.5	4599.04	654.12	195	459.12	3199.57	156	3043.57
	1421.79	780	641.79	1552.05	585	967.05	1672.69	409.5	1263.19
	2734.56	487.5	2247.06	4077.1	312	3765.1	3486.07	273	3213.07
	4462.73	780	3682.73	3699.19	741	2958.19	5440.7	604.5	4836.2
	1224.26	234	990.26	2727	97.5	2629.5	949.29	156	793.29
	2786.28	643.5	2142.78	2828.26	214.5	2613.76	4984.88	429	4555.88

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 4. Selisih massa COD pada lumpur, air, dan cacing**

Jenis Cacing	Rasio w/s								
	0,4			0,6			0,8		
	Lumpur	air	cacing	Lumpur	air	cacing	Lumpur	air	cacing
<i>Tubifex sp.</i>	1173	44.95	1128.05	1077	-14.98	1091.98	981	177.28	803.72
	448.64	619.67	-171.04	652.27	100.47	551.81	754.09	190.51	563.58
	-210	887.25	-1097.25	315	559.65	-244.65	-315	498.23	-813.23
	420	1135.43	-715.43	315	1185.07	-870.07	420	1287.44	-867.44
	840	588.66	251.34	1260	665.44	594.56	1260	537.47	722.53
	945	793.41	151.59	735	895.78	-160.78	420	537.47	-117.47
	840	153.56	686.44	840	0	840	735	51.19	683.81
<i>Lumbriculus sp.</i>	85.5	7.76	77.74	85.5	-43.43	128.93	61.5	103.93	-42.43
	85.5	147.2	-61.7	85.5	-135.22	220.72	61.5	-1.46	62.96
	74.88	-135.22	210.09	102.42	-191.7	294.12	74.88	176.29	-101.42
	91.62	181.46	-89.84	21.62	235.16	-213.54	9.26	480.3	-471.04
	92.88	-201.38	294.27	28.27	-177.98	206.25	-4.04	90.76	-94.8
	92.88	348.85	-255.96	131.96	364.15	-232.19	21.28	578.01	-556.72
	-44.3	40.88	-85.18	-114.93	40.88	-155.81	-114.93	432.13	-547.06

Sumber: Hasil Perhitungan