

## **Pengaruh Penambahan Cacing Akuatik Terhadap Konsentrasi Nitrogen dan Fosfor dalam Proses Reduksi Lumpur Limbah**

Nama Mahasiswa : Wenny Vebriane  
NRP : 3310 100 070  
Dosen Pembimbing : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.  
Dosen Co-Pembimbing : Alfian Purnomo ST., M.T.

### **ABSTRAK**

Pembentukan lumpur biologis merupakan masalah yang tidak bisa dihindari dalam pengolahan air limbah secara biologis. Penggunaan cacing akuatik merupakan alternatif untuk meminimisasi jumlah lumpur biologis yang dihasilkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah. Tetapi, pelepasan nutrisi pada effluen dilaporkan sebagai salah satu kerugian reduksi lumpur menggunakan cacing akuatik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan konsentrasi nitrogen dan fosfor dalam proses reduksi lumpur dengan cacing akuatik.

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan reaktor cacing dengan sistem *batch* selama 7 hari. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis cacing akuatik dan rasio *worm/sludge* (w/s). Parameter yang dianalisis adalah total nitrogen (TN), total fosfor (TP), DO, pH, dan suhu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan cacing akuatik dapat menurunkan TN dan TP dalam lumpur. Rata-rata penyisihan TN dan TP tertinggi dalam lumpur untuk *Tubifex sp.* sebesar 26% dan 11% lebih tinggi daripada reaktor tanpa cacing pada w/s 0,6 sedangkan untuk *Lumbriculus sp.* sebesar 13% dan 9% pada w/s 0,4. Penambahan cacing akuatik juga meningkatkan konsentrasi TN dan TP pada air dengan laju pelepasan 0,011 mg-TN/mg-*Tubifex* hari; 0,005 mg-TP/mg-*Tubifex* hari; 0,007 mg-TN/mg-*Lumbriculus* hari; 0,0014 mg-TP/mg-*Lumbriculus* hari.

**Kata kunci : Cacing akuatik, reduksi lumpur limbah, total fosfor, total nitrogen.**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **Effect of Aquatic Worm on Nitrogen and Phosphorus Concentration during Waste Sludge Reduction Process**

Name : Wenny Vebriane  
ID Number : 3310 100 070  
Supervisor : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.  
Co-Supervisor : Alfian Purnomo ST., M.T.

### **ABSTRACT**

Waste sludge production is an avoidable problem from biological wastewater treatment process. Application of aquatic worm is an alternative to minimize the amount of biological waste sludge produced in wastewater treatment plants. However the nutrient release into effluent is reported as one of the main disadvantage of sludge reduction induced by aquatic worm. Therefore the aim of this research is to determine the changes of nitrogen and phosphorus concentrations during sludge reduction process using aquatic worm.

This research was conducted in lab-scale with batch worm reactor system for 7 days. The variables used in this research were aquatic worm types and worm to sludge ratio (w/s). Parameters used in this research were total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP), DO, pH, and temperature.

The results showed that the addition of aquatic worm during sludge reduction may decrease TN and TP concentration in sludge. The highest average TN and TP removals in sludge for *Tubifex sp.* were 26% and 11% higher than the reactor without worms on the w/s 0,6 meanwhile TN and TP removals for *Lumbriculus sp.* were 13% and 9% on the w/s 0,4. On the other hand, the addition of aquatic worms also increases the TN and TP concentration in the water with release rate 0.011 mg-TN/mg-*Tubifex* day; 0.005 mg-TP/mg-*Tubifex* day; 0.007 mg-TN/mg-*Lumbriculus* day; 0.0014 mg-TP/mg-*Lumbriculus* day.

**Keywords : Aquatic worm, total nitrogen, total phosphorus, waste sludge reduction**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum Lumpur Limbah**

Dalam suatu instalasi pengolahan air limbah, salah satu bahan atau material yang harus dihilangkan adalah padatan, yang diistilahkan dengan *solid* dan *biosolid*, yang selanjutnya seringkali disebut dengan lumpur. Umumnya berbentuk *liquid* atau *semi solid liquid*. Secara tipikal lumpur mengandung 0,25–12% berat *solid*, di mana hal ini tergantung pengolahan yang digunakan (Metcalf dan Eddy, 2003).

Lumpur terdiri dari dua komponen utama yaitu *liquid* dan *solid*. Fase *liquid* mengandung air dan juga partikel terlarut yang merupakan bahan organik dalam bentuk karbohidrat, *fatty acid* dan bahan anorganik seperti ammonium. Fase *solid* mengandung bahan organik dan anorganik. Bahan organik terbentuk dari hasil dekomposisi organisme sedangkan bahan anorganik berasal dari logam dan nutrien (Nilsson dan Dahlstrom, 2005).

Pengolahan air limbah secara biologis akan menghasilkan lumpur biologis (*biosolid*), bakteri, bahan organik dan anorganik, fosfor dan senyawa nitrogen serta beberapa jenis polutan seperti logam berat, polutan organik dan patogen (Elissen *et al.* 2010). *Biosolid* adalah padatan dari air limbah yang merupakan produk organik yang secara menguntungkan dapat digunakan setelah pengolahan stabilisasi dan komposting (*Water Environment Federation*, 1998 dalam Metcalf dan Eddy, 2003). *Biosolid* umumnya kaya akan nutrien antara lain nitrogen, fosfor dan beberapa mikronutrien.

#### **2.2 Karakteristik Lumpur**

Karakteristik lumpur dapat ditinjau dari beberapa parameter yaitu fisik, kimia dan biologis.

### 2.2.1 Karakteristik Fisik Lumpur

Menurut Sanin *et al.* (2011), karakteristik fisik lumpur adalah sebagai berikut:

1. *Specific Gravity* (Sg)  
*Specific gravity* didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara berat jenis lumpur dengan berat jenis air. Kebanyakan lumpur mempunyai *specific gravity* sekitar 1.0, hampir sama dengan densitas air. Lumpur hampir selalu membentuk flok. Mengetahui densitas flok merupakan hal yang sangat diperlukan pada tiap tahapan pengolahan karena semakin besar densitas maka flok akan semakin mudah mengendap.
2. Konsentrasi Padatan  
Padatan merupakan polutan utama dalam air. Penyisihan padatan dalam air menjadi salah satu objek utama dalam pengolahan lumpur. Konsentrasi padatan penting untuk diketahui karena merupakan tolok ukur keberhasilan pengolahan lumpur. Definisi padatan (*solid*) adalah residu pada proses penguapan dengan suhu 103°C. Padatan tersebut dikenal dengan total solid. Total *solid* dapat dibagi menjadi 2 fraksi yaitu: padatan terlarut dan padatan tersuspensi.
3. Kemampuan Pengendapan lumpur  
Kemampuan pengendapan (*settleability*) lumpur dapat diuji dengan dua macam 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. SVI yang bernilai 200 mengindikasikan terjadinya *bulking sludge*.
4. Ukuran dan bentuk flok/partikel  
Flok dapat berbentuk bulat, lonjong, atau pipih. Ukuran flok dipengaruhi oleh faktor berikut ini:
  - Jenis mikroorganismenya
  - Agitasi (pencampuran/pengadukan)

- Konsentrasi oksigen terlarut
  - Umur lumpur
  - Karakteristik substrat
5. Distribusi air
- Air pada lumpur dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain: *Free (bulk) water*, yaitu air yang tidak terpengaruh dan tidak berkaitan dengan padatan tersuspensi. *Interstitial water*, yaitu air yang terjebak di sela-sela mikroorganisme atau flok. Jenis air ini dapat menjadi *free water* apabila flok/mikroorganisme yang berada di sekelilingnya dihancurkan. *Vicinal water*, yaitu lapisan-lapisan molekul air yang melekat kuat pada permukaan partikel akibat adanya ikatan hidrogen. *Water of hydration*, yaitu air yang terikat secara kimia pada partikel dan hanya bisa dihilangkan dengan menggunakan energi termal.
6. 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.

Data tipikal karakteristik fisik untuk beberapa jenis lumpur dari pengolahan air limbah dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Karakteristik Fisik Tipikal Beberapa Jenis Lumpur**

Proses pengolahan	Spesific gravity solid	Spesific gravity sludge	Dry solid (kg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	
			Range	Tipikal
Sedimentasi Primer	1,4	1,02	110-170	150
Activated Sludge	1,25	1,005	70-100	80
Trickling filter	1,45	1,025	60-100	70
Extended aeration	1,30	1,015	80-120	100
Aerated lagoon	1,30	1,01	80-120	100
Filtration	1,20	1,005	12-24	20

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2003

### 2.2.2 Karakteristik Kimia Lumpur

Menurut Sanin *et al.* (2011), karakteristik kimia lumpur adalah sebagai berikut:

#### 1. Nutrien

Lumpur limbah setelah diolah biasanya masih mengandung konsentrasi organik dan nutrien yang tinggi. Nutrien yang paling penting di dalam lumpur antara lain fosfor, nitrogen, potassium dan sulfur. Nitrogen merupakan bagian dari protein dan asam nukleat sehingga penting bagi semua bentuk kehidupan. Potasium penting bagi semua organisme dan kebanyakan berada dalam sel sebagai ion. Fosfor merupakan bagian dari sel DNA dan berperan penting dalam metabolisme seperti fotosintesis dan respirasi. Fosfor dalam lumpur kebanyakan berasal dari urin, feses dan detergen yang mengandung fosfat. Kebanyakan nitrogen dan fosfor dalam lumpur masih dalam bentuk organik dan tidak bisa dimanfaatkan secara langsung oleh tanaman. Nitrogen organik harus dikonversi terlebih dahulu menjadi ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) dan nitrat nitrogen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ).

#### 2. Logam berat dan organik toksik

Keberadaan logam berat dalam lumpur limbah kebanyakan bersumber dari limbah industri baik skala besar maupun kecil. Lumpur dapat mengandung bermacam logam seperti aluminium (Al), arsenik (As), boron (B), cadmium (Cd), krom (Cr), kobalt (Co), tembaga (Cu), besi (Fe), merkuri (Hg), mangan (Mn), nikel (Ni), timbal (Pb), selenium (Se), dan seng (Zn) yang tergantung pada sumbernya.

### 2.2.3 Karakteristik Biologis Lumpur

Menurut Sanin *et al.* (2011), karakteristik biologis lumpur adalah sebagai berikut :

#### 1. Mikroba

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

## 2. Polimer Permukaan

Banyak bakteri memiliki kemampuan memproduksi polisakarida diluar dinding sel. Polisakarida ini akan membentuk kapsul yang berikatan kuat dan mengelilingi dinding sel. Campuran dari flok bakteri dan biofilm, susunan polimer ekstraseluler (EPS) akan membentuk lebih dari satu komponen polisakarida.

## 2.3 Jenis Lumpur

Menurut Turovskiy dan Mathai (2006), ketika lumpur diolah akan menghasilkan biosolid yang dapat digolongkan sesuai dengan proses pengolahannya, seperti aerobik digester, anaerobik digester, stabilisasi alkali, komposting dan pengeringan termal. Lumpur yang terolah tersebut dapat juga hanya digolongkan menjadi *primary sludge*, *secondary sludge*, *chemical sludge*, dan residu lainnya.

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

Kebanyakan instalasi pengolahan air limbah menggunakan proses fisik dengan bak pengendap untuk menghilangkan partikel *solid* dari air limbah. Pada pengolahan limbah secara konvensional, berat kering dari lumpur hasil bak pengendap pertama adalah 50% dari lumpur total dengan konsentrasi solid antara 2-7%. Densitas dari lumpur primer adalah 1,0-1,03 g/cm<sup>3</sup>. Dibandingkan dengan lumpur biologis dan kimiawi, proses penghilangan air (*dewatering*) pada lumpur primer lebih cepat karena kandungan partikel diskrit yang akan menghasilkan *cake* yang lebih kering dan diperoleh padatan dengan kebutuhan proses *conditioning* yang lebih rendah. Lumpur primer memiliki kandungan organik

yang tinggi sehingga mudah busuk dan menimbulkan bau jika disimpan tanpa diolah terlebih dahulu.

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

Lumpur sekunder yang biasa disebut dengan lumpur biologis, dihasilkan dari proses pengolahan biologis seperti *activated sludge*, *trickling filter* dan *rotating biological contactor*. Lumpur biologis ini mengandung bakteri yang telah mengkonsumsi bahan organik dalam proses pengolahan biologis dan padatan yang tidak dapat dihilangkan pada bak pengendap pertama. Lumpur hasil dari proses *activated sludge* dan *trickling filter* mengandung konsentrasi solid 0,4-1,5%. Densitas dari lumpur biologis adalah sekitar 1,0 g/cm<sup>3</sup>. Lumpur biologis lebih sulit dihilangkan airnya daripada lumpur primer karena flok biologis yang ringan sehingga sulit terpisahkan dalam lumpur.

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

Bahan kimia sering digunakan pada proses pengolahan limbah terutama pada pengolahan limbah industri untuk mengendapkan bahan-bahan yang sulit dihilangkan. Dalam proses pengolahan limbah tersebut akan dihasilkan lumpur kimia. Banyak instalasi pengolahan limbah menggunakan *tertiary clarifier* atau *tertiary filter* untuk menghilangkan endapan kimia. Beberapa bahan kimia dapat menimbulkan efek yang tidak diinginkan seperti penurunan pH dan alkalinitas air limbah yang berakibat pada perlunya penambahan bahan kimia alkali.

### **2.3.4 Residu Lainnya**

Selain lumpur, residu lainnya dari proses pengolahan air limbah adalah partikel *grit* dan *scum*. Meskipun volume dan beratnya jauh lebih sedikit daripada lumpur, residu tersebut tetap sangat penting untuk dihilangkan dan dibuang.

*Grit* mengandung material berat dan kasar seperti pasir dan bahan anorganik lain yang serupa. *Grit* pada umumnya dihilangkan dengan menggunakan *grit chamber*. Dalam beberapa pengolahan limbah, partikel *grit* diendapkan pada bak pengendap

pertama bersamaan dengan lumpur primer dan kemudian dipisahkan dari lumpur dengan *vortex grit separator*. Volume *grit* dalam air limbah bervariasi antara 4-200 mL/m<sup>3</sup>.

*Scum* merupakan hasil dari proses skimming pada bak pengendap. *Scum* dari bak pengendap primer mengandung minyak dan lemak. Sedangkan *scum* dari bak pengendap kedua kebanyakan adalah biofilm yang tergantung pada jenis pengolahan biologis yang digunakan. *Scum* dapat dibuang dengan dipompa ke digester lumpur, dikonsentrasikan, diinsenerasi atau dikeringkan dan kemudian digunakan untuk pengisian lahan (*landfilling*).

## 2.4 Pengolahan Lumpur

Tujuan pengolahan lumpur yang utama ada 2 yaitu mengurangi kadar polutan dalam lumpur baik secara kuantitas maupun kualitasnya dan mereduksi volume atau berat lumpur sehingga memudahkan penanganan. Menurut Sanin *et al.* (2011), tantangan dalam manajemen lumpur adalah untuk menemukan cara dalam pembuangan lumpur yang tidak akan mengakibatkan perubahan pada lingkungan.

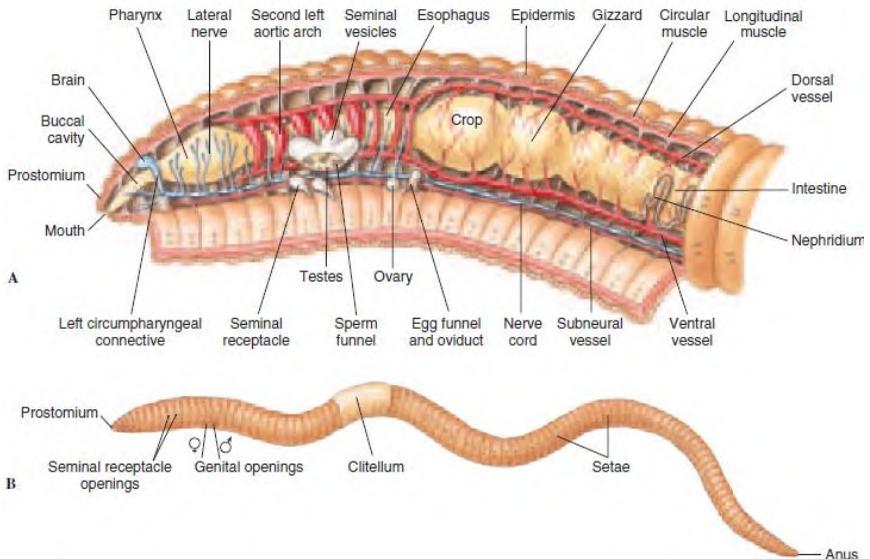
Sudah banyak proses-proses pengolahan lumpur yang telah dikembangkan. Pada dasarnya ada lima katagori utama pengolahan lumpur yang diterapkan secara berurutan yakni pengkonsentrasian/pemekatan, stabilisasi, pengkondisian, pelepasan air dan pengeringan (Devia, 2009).

Menurut Tamis *et al.* (2011), reduksi lumpur dapat dilakukan secara mekanik, kimiawi, termal, dan biologi. Reduksi secara mekanik dapat dilakukan dengan ultrasonik, hidrodinamik dan *grinding*. Reduksi secara kimiawi dapat dilakukan dengan menggunakan ozon dan asam/alkali hidrolisis. Reduksi secara termal dapat dilakukan dengan pemanasan dan *freeze drying*. Sedangkan secara biologi dapat dilakukan dengan pengolahan enzim, pengolahan dengan fungi dan memanfaatkan cacing sebagai predator.

## 2.5 Gambaran Umum Cacing Akuatik Oligochaeta

Cacing akuatik oligochaeta merupakan organisme yang keberadaannya melimpah di lingkungan perairan dan juga dikenal sebagai organisme bioindikator pencemaran (Diden, 2003 dalam Jablonska, 2013). Biasanya keberadaan oligochaeta akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi limbah, sementara organisme yang bersifat kurang resisten menghilang. Bahan organik merupakan sumber makanan dasar bagi oligochaeta. Hal ini membuat kelompok oligochaeta menjadi komponen penting dalam proses *self-purification* di perairan, terutama di perairan yang tercemar (Jablonska, 2013). famili oligochaeta seperti Aeolosomatidae, Naididae, Tubificidae, Lumbriculidae hidup di perairan tawar.

Secara umum anatomi tubuh cacing kelompok oligochaeta dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Anatomi Cacing Oligochaeta**

Sumber: Hickman *et al.*, 2001

Secara umum badan cacing oligochaeta terdiri atas dua lapisan otot yang membujur dan melingkar dari anterior hingga posterior tubuhnya. Perpindahan cacing terjadi melalui gerakan peristaltik. Kontraksi otot melingkar pada bagian anterior akan mendorong cacing ke depan, sementara kontraksi otot yang membujur akan memendekkan badan sehingga menarik bagian posterior ke depan. Hampir semua oligochaeta bernafas dengan cara difusi melalui seluruh permukaan tubuh (Hickman *et al.*, 2001).

Penyerapan nutrisi oleh cacing dimulai dari mulut yang berada pada bagian depan tubuhnya. Cacing tidak mempunyai gigi. Setelah makanan menjadi lembab akibat sekresi dari mulut, makanan akan ditelan melalui gerakan otot faring/kerongkongan menuju ke esofagus. Setelah dari esofagus makanan disimpan sementara dalam tembolok (*crop*). Kemudian makanan masuk ke lambung berotot (*gizzard*) untuk digiling secara mekanis. Pencernaan dan penyerapan akan terjadi pada usus halus (*intestine*) yang memiliki lipatan dorsal atau yang disebut tiflosol. Sisa makanan yang tidak tercerna akan dikeluarkan lewat anus dalam bentuk feses (Hickman *et al.*, 2001). Feses cacing mengandung nitrogen dalam jumlah yang besar, fosfor, potasium serta trace mineral seperti Fe, Ca, Mg, S, Cu, Zn dan Mn dalam jumlah yang kecil. Cacing akuatik oligochaeta mengeskresikan ammonia dan beberapa diantaranya dikeluarkan melalui permukaan kulit.

### 2.5.1 *Tubifex sp.*

*Tubifex sp.* merupakan cacing akuatik dalam kelas Oligochaeta yang termasuk salah satu organisme mikrozoobenthos. Cacing *Tubifex sp.* memiliki warna tubuh yang dominan kemerah-merahan seperti pada Gambar 2.2. Ukuran tubuhnya sangat ramping dan halus dengan panjang 1-2 cm. cacing ini senang hidup berkelompok atau bergerombolan karena masing-masing individu berkumpul menjadi koloni yang sulit diurai dan saling berkaitan satu sama lain. Kandungan nutrisi

yang terdapat pada cacing *Tubifex sp.* yaitu protein 57%, karbohidrat 2,04%, lemak 13,30%, air 87,19% dan kadar abu 3,60% (Khairuman *et al.*, 2008).



**Gambar 2.2** Cacing *Tubifex sp.*

Kedudukan tasonomi cacing *Tubifex sp.* adalah sebagai berikut :

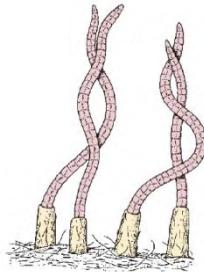
Filum	: Annelida
Kelas	: Oligochaeta
Ordo	: Haplotoseida
Subordo	: Tubificina
Famili	: Tubificidae
Genus	: Tubifex
Species	: <i>Tubifex sp.</i>

Habitat dan penyebaran cacing sutra umumnya berada di daerah tropis. Umumnya berada di saluran air atau kubangan dangkal berlumpur yang airnya mengalir perlahan, misalnya selokan tempat mengalirnya limbah dari pemukiman penduduk atau saluran pembuangan limbah peternakan. Cacing *Tubifex sp.* hidup pada substrat lumpur dengan kedalaman 0-4 cm Dasar perairan yang banyak mengandung bahan-bahan organik terlarut merupakan habitat kesukaannya (Khairuman *et al.*, 2008).

*Tubifex sp.* dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas air di sungai. *Tubifex sp* merupakan indikator biologis adanya

pencemaran organik di perairan. *Tubifex sp.* dapat hidup di air sungai dengan bahan organik yang tinggi, keruh, berlumpur dan kandungan oksigen terlarut yang rendah (Siahaan *et al.*, 2012).

Makanan utama *Tubifex sp.* adalah alga, diatom, bakteri, detritus dari berbagai macam hewan dan tumbuhan tingkat rendah serta bahan organik yang telah terurai dan mengendap di dasar perairan (Khairuman *et al.*, 2008). Kebanyakan *Tubifex sp.* membuat tabung pada lumpur di dasar perairan sementara bagian posterior tubuhnya menonjol keluar dari tabung bergerak melambai-lambai secara aktif di dalam air seperti pada Gambar 2.3. Dengan demikian akan terjadi sirkulasi air dan cacing akan mendapat oksigen melalui permukaan tubuhnya (Elissen, 2007).



**Gambar 2.3 Kebiasaan hidup *Tubifex sp.* di alam**

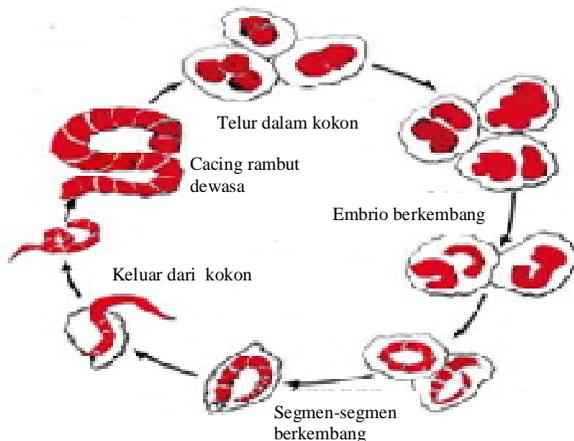
Sumber: Hickman *et al.*, 2001

Temperatur yang sesuai untuk kehidupan cacing *Tubifex sp.* adalah berkisar antara 25-30<sup>0</sup>C (Shafrudin *et al.*, 2005). Temperatur bukan merupakan faktor penghambat bagi cacing oligochaeta, namun dapat mempengaruhi sifat fisika dan kimia air serta dapat mempercepat proses biokimia.

pH air yang sesuai untuk kehidupan cacing dari famili Tubificidae berkisar antara 6,0-8,0 (Shafrudin *et al.*, 2005). Pada pH netral, bakteri dapat memecah bahan organik dengan normal menjadi lebih sederhana yang siap dimanfaatkan oleh *Tubifex sp.*

*Tubifex* sp mempunyai toleransi yang besar terhadap kandungan oksigen, bahkan pada kondisi anaerob dan temperatur 0-2°C sepertiga dari spesimen *Tubifex* sp. masih dapat bertahan selama 48 hari. Pada keadaan kadar oksigen lingkungannya rendah, cacing sutera akan menonjolkan dan menggerakkan bagian posterior tubuhnya untuk memperoleh oksigen sehingga dapat terus bernafas. *Tubifex* sp. akan berkembang dengan baik pada media dengan kandungan oksigen antara 2,75-5 ppm (Shafrudin *et al.*, 2005).

Cacing *Tubifex* sp. merupakan organisme hermaprodit. Cacing *Tubifex* biasanya berkembang biak secara seksual dengan menghasilkan telur dalam kokon/kepompong. Telur tersebut dihasilkan oleh cacing yang telah mengalami kematangan sex kelamin betinanya. Induk *Tubifex* sp. dapat menghasilkan kokon setelah berumur 40 – 45 hari. Telur ini kemudian mengalami pembelahan dan berkembang membentuk segmen-segmen. Setelah beberapa hari embrio dari cacing ini akan keluar dari kokon. Lamanya siklus hidup cacing *Tubifex* sp. adalah selama 20-62 hari (Elissen, 2007). Siklus hidup *Tubifex* sp. dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Siklus hidup *Tubifex* sp.

### 2.5.2 *Lumbriculus sp.*

*Lumbriculus sp.* merupakan cacing akuatik dalam kelas Oligochaeta yang termasuk salah satu organisme microzoobenthos. Habitat dari cacing *Lumbriculus sp.* umumnya di perairan air tawar seperti di tepi kolam, danau dan sungai dengan aliran lambat. Cacing *Lumbriculus sp.* memperoleh makanan dari vegetasi yang terurai, mikroorganisme dan sedimen (Karlsson, 2013). Cacing akuatik *Lumbriculus sp.* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Cacing *Lumbriculus sp.*

Sumber: Karlsson, 2013

Kedudukan tasonomi cacing *Lumbriculus sp.* adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Animalia
Filum	: Annelida
Kelas	: Oligochaeta
Ordo	: Lumbriculida
Famili	: Lumbriculidae
Genus	: Lumbriculus
Spesies	: <i>Lumbriculus sp.</i>

Reproduksi *Lumbriculus sp.* terjadi secara seksual dan aseksual. Reproduksi secara seksual terjadi pada cacing dewasa dan menghasilkan kokon transparan yang berisi 4-11 telur dan akan menetas setelah dua minggu. Reproduksi aseksual terjadi dengan pembelahan menjadi dua fragmen. Kedua fragmen tersebut akan mengalami regenerasi menjadi dua individu (Karlsson, 2013).

Di alam, *Lumbriculus sp.* menggunakan bagian anteriornya untuk mencari makanan sedangkan bagian ekornya untuk pertukaran gas. Jika memungkinkan, cacing ini mengulurkan ekornya vertikal ke permukaan air untuk memecah tegangan permukaan air. Posisi tersebut memudahkan pertukaran gas antara udara dengan pembuluh darah dorsal yang berada dibawah lapisan epidermis.

*Lumbriculus sp.* merupakan organisme yang toleran terhadap pencemar dan kemungkinan terdapat di badan air mengalir yang bersih sampai kotor. *Lumbriculus sp.* pada umumnya digunakan untuk mengukur bioakumulasi kontaminan pada sedimen (Karlsson, 2013).

Dibandingkan dengan cacing akuatik lainnya, keuntungan utama dari *Lumbriculus sp.* adalah pertumbuhannya dengan pembelahan yang mana mengeliminasi tahap pembiakan, mudah dipisahkan dari lumpur karena ukurannya dan jumlah reduksi lumpur yang dapat diketahui dengan jelas. Selain itu, *Lumbriculus sp.* mengandung protein yang tinggi sekitar lebih dari 60%.

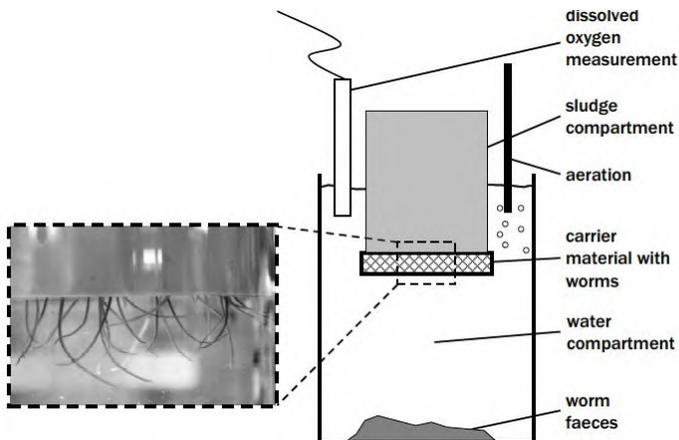
## 2.6 Reaktor Cacing Akuatik

Penggunaan protozoa dan metazoan mulai banyak dikembangkan sebagai metode biologis untuk mereduksi lumpur. Metode ini didasarkan pada adanya hubungan dalam rantai makanan dan menyebabkan reduksi biomassa. Metode ini semakin diminati karena konsumsi energi yang rendah dan mampu mengurangi polutan (Basim *et al.*, 2012).

Berdasarkan ukuran tubuh, cacing merupakan organisme terbesar dalam siklus pengolahan lumpur dibandingkan dengan protozoa. Cacing juga lebih mudah dipelihara karena ukuran tubuhnya dan mempunyai kapasitas yang cukup dalam reduksi lumpur (Wei *et al.*, 2009). Menurut Rastak (2006), cacing akuatik jenis *Oligocaheta* sangat dimungkinkan untuk mereduksi lumpur dalam skala laboratorium dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber protein untuk makanan ikan.

Dalam penelitiannya, Elissen *et al.* (2006) telah membandingkan kemampuan cacing akuatik *Lumbriculus variegatus* dalam reaktor yang berisi cacing dengan reaktor tanpa cacing. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa laju reduksi TSS dalam reaktor berisi cacing, tiga kali lebih besar dibandingkan dengan reaktor tanpa cacing.

Konsep dasar dari reaktor cacing ini adalah memasukkan cacing ke dalam material pembawa (*carrier material*) sehingga cacing tidak bisa berpindah. Cacing akan mengkonsumsi lumpur limbah dari satu sisi material pembawa dan akan memutar dirinya sehingga menonjolkan ekornya melalui lubang pada material pembawa untuk mengambil oksigen dari kompartemen air. Dengan konsep ini feses cacing dapat dikumpulkan dalam kompartemen air (Hendrickx *et al.*, 2009). Gambar skema reduksi lumpur dalam reaktor cacing dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6 Sketsa Reaktor Cacing untuk Reduksi Lumpur**

Sumber: Elissen *et al.*, 2006

Beberapa kondisi yang mempengaruhi pengoperasian reaktor cacing akuatik menurut Hendrickx *et al.* (2009) antara lain :

1. Konsentrasi oksigen terlarut  
Konsentrasi oksigen terlarut akan mempengaruhi laju konsumsi cacing dan efisiensi pencernaan cacing. Konsentrasi oksigen terlarut dalam kompartemen air memiliki pengaruh yang jelas pada konsumsi lumpur dan produksi feses oleh cacing.
2. Toksisitas ammonia  
Peningkatan konsentrasi ammonia dalam kompartemen air akan menyebabkan laju konsumsi lumpur oleh cacing menjadi lebih rendah karena ammonia non-ionik merupakan bentuk toksik untuk cacing, Meskipun ammonia juga dihasilkan dari cacing sendiri sebagai hasil dari proses metabolisme dan dari proses mineralisasi lumpur,
3. Temperatur  
Temperatur berpengaruh pada konsumsi lumpur dan efisiensi pencernaan lumpur oleh cacing. Reduksi lumpur tertinggi dapat dicapai pada suhu 28<sup>0</sup>C dan akan menurun secara signifikan pada suhu antara 10<sup>0</sup>C hingga 20<sup>0</sup>C.

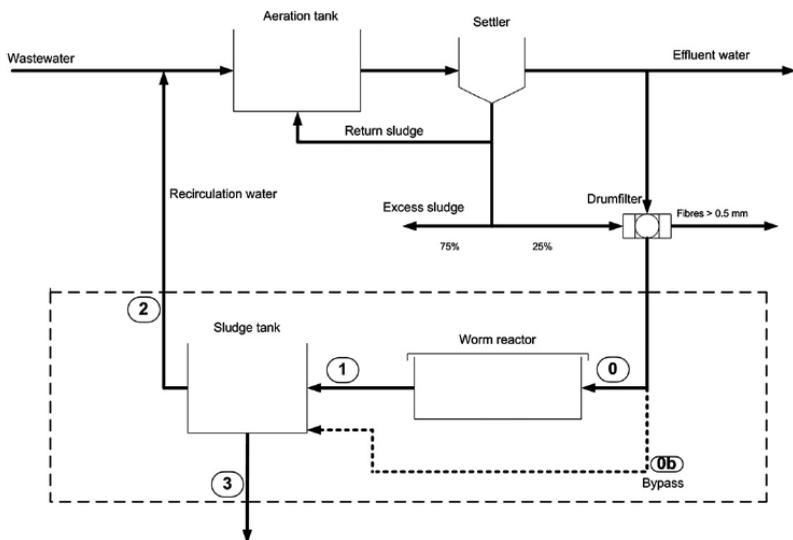
Beberapa parameter desain dalam suatu reaktor cacing menurut Hendrickx *et al.* (2010b) antara lain :

1. Ukuran lubang material pembawa  
Ukuran lubang pada material pembawa akan mempengaruhi penambahan berat individual cacing, jumlah cacing yang tertahan dan *supply* oksigen bagi cacing.
2. Densitas cacing dan beban lumpur pada cacing  
Densitas cacing yang tinggi akan menurunkan laju konsumsi lumpur. Hal ini dikarenakan adanya kompetisi untuk mendapatkan makanan
3. Jenis Lumpur  
Jenis lumpur akan mempengaruhi laju konsumsi dan pencernaan lumpur oleh cacing.
4. *Specific oxygen uptake rate* (SOUR)

Proses reduksi lumpur pada reaktor cacing dapat terjadi karena kombinasi dari 3 proses antara lain :

1. Dicernanya padatan lumpur oleh cacing, yang akan merubah lumpur menjadi  $\text{CO}_2$ , biomassa cacing dan feses cacing
2. Reaksi endogenus pada lumpur akibat penambahan oksigen melalui difusi
3. Reaksi endogenus pada lumpur akibat penambahan oksigen melalui bioturbasi.

Reduksi lumpur dengan reaktor cacing tidak hanya dikembangkan dalam skala laboratorium tetapi juga skala IPAL. Berdasarkan penelitian Tamis *et al.*, 2011 dengan mengkonfigurasikan reaktor cacing dalam skala besar seperti pada Gambar 2.7, menunjukkan adanya penurunan TSS sebesar 65%.



**Gambar 2.7 Reaktor Cacing dalam Skala Besar**

Sumber : Tamis *et al.*, 2011

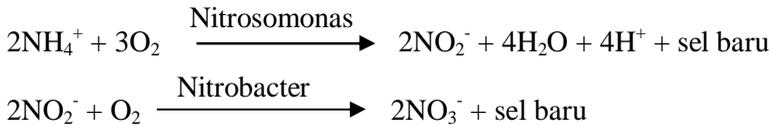
## 2.7 Nitrogen

Nitrogen merupakan elemen yang esensial bagi pertumbuhan mikroorganisme, tumbuhan, dan hewan yang sering juga disebut sebagai biostimulan. Senyawa kimia nitrogen sangat kompleks, karena nitrogen memiliki beberapa tahapan oksidasi yang dapat merubah senyawa kimia nitrogen. Proses oksidasi tersebut dipengaruhi oleh organisme hidup (Metcalf dan Eddy, 2003).

Nitrogen dalam perairan terdapat dalam bentuk gas nitrogen ( $N_2$ ), amonia ( $NH_3$ ), amonium ( $NH_4^+$ ), ion nitrit ( $NO_2^-$ ), ion nitrat ( $NO_3^-$ ), dan nitrogen organik (Metcalf dan Eddy, 2003). Nitrogen organik merupakan campuran kompleks berbagai bahan seperti asam amino, gula amino, dan protein (polimer). Nitrogen dalam bentuk ini siap untuk diubah menjadi amonium oleh mikroorganisme yang berada di air atau tanah. Total nitrogen merupakan konsentrasi total dari ammonia, nitrit, nitrat dan nitrogen organik. Nitrogen dalam bentuk gas termasuk  $N_2$  tidak termasuk dalam total nitrogen (Sawyer *et al.*, 2003). Transformasi dari bentuk-bentuk nitrogen tersebut merupakan bagian dari siklus nitrogen.

Mineralisasi merupakan aspek penting dari transformasi nitrogen dalam lumpur. Mineralisasi adalah proses konversi dari bentuk organik dari nitrogen menjadi bentuk mineral. Proses mineralisasi dalam proses dekomposisi menjadi bentuk-bentuk yang lebih sederhana seperti  $NH_4^+$ , lalu mengalami oksidasi menjadi  $NO_2^-$  kemudian menjadi  $NO_3^-$ . Proses mineralisasi melibatkan dua reaksi yaitu reaksi aminisasi dan amonifikasi yang terjadi melalui aktivitas mikroorganisme heterotrofik. Aminisasi merupakan proses perubahan protein dan senyawa serupa yang merupakan sebagian besar nitrogen menjadi senyawa amino. Amino dan asam amino yang dihasilkan melalui proses aminisasi didekomposisi oleh bakteri heterotrof dan membebaskan  $NH_4^+$ . Proses ini disebut dengan amonifikasi nitrogen. Amonium yang terbentuk pada proses ini diubah menjadi  $N-NO_3^-$  melalui nitrifikasi.

Nitrifikasi secara biologis adalah oksidasi ion ammonium menjadi ion nitrit, serta ion nitrit menjadi ion nitrat oleh bakteri. Proses nitrifikasi membutuhkan oksigen dan alkalinitas (Gerardi, 2002). Reaksi yang terjadi selama proses nitrifikasi berlangsung adalah sebagai berikut:



Proses denitrifikasi merupakan proses dimana nitrat dan nitrit direduksi menjadi gas  $\text{N}_2$ , yang pada akhirnya dilepas dari kolom air. Reduksi nitrat berjalan optimal pada kondisi anoksik. Menurut Woon (2007) proses denitrifikasi berlangsung dalam beberapa tahap, yaitu:



Dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) adalah produk utama dari denitrifikasi pada perairan dengan kadar oksigen sangat rendah, sedangkan molekul nitrogen ( $\text{N}_2$ ) adalah produk utama dari proses denitrifikasi pada kondisi anaerob. Proses denitrifikasi akan berkurang atau lambat pada kondisi pH dan suhu rendah.

## 2.8 Fosfor

Di perairan, unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen, melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa fosfat organik yang berupa partikulat. Fosfat organik adalah P yang terikat dengan senyawa-senyawa organik. Total fosfor adalah konsentrasi total dari P-organik dan P-anorganik (Sawyer *et al.*, 2003). Fosfor membentuk kompleks ion besi dan kalsium pada kondisi aerob, bersifat tidak larut, dan mengendap pada sedimen sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh alga.

Fosfor dalam perairan tawar ataupun air limbah pada umumnya dalam bentuk fosfat, yaitu ortofosfat, fosfat terkondensasi seperti pirofosfat ( $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ), metafosfat ( $\text{P}_3\text{O}_9^{3-}$ ) dan

polifosfat ( $P_4O_{13}^{6-}$  dan  $P_3O_{10}^{5-}$ ) serta fosfat yang terikat secara organik (adenosin monofosfat). Senyawaan ini berada sebagai larutan, partikel atau detritus atau berada di dalam tubuh organisme akuatik

Organisme dalam proses pengolahan biologis semuanya membutuhkan fosfor untuk pembentukan protein dan metabolisme bagi organisme (Effendi, 2003). Fosfor merupakan komponen biokimia sebagai pengubah energi di dalam sel dan terdapat dalam bentuk *adenosine triphosphate* (ATP) dan *adenosine diphosphate* (ADP), yang sangat diperlukan dalam kehidupan sel. Kekurangan fosfor akan menghambat metabolisme secara keseluruhan, sehingga menyebabkan penurunan pertumbuhan biomassa.

Bentuk unsur fosfor di perairan berubah secara terus menerus akibat proses dekomposisi dan sintesis antara bentuk organik dan anorganik yang dilakukan oleh mikroba. Semua polifosfat mengalami hidrolis membentuk ortofosfat. Pada suhu yang mendekati titik didih, perubahan polifosfat menjadi ortofosfat berlangsung cepat. Kecepatan ini meningkat dengan menurunnya suhu dan pH.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna sebagai referensi dalam pelaksanaan dan pembahasan. Penelitian terdahulu terkait pengolahan lumpur dengan cacing akuatik dan pengaruhnya terhadap nutrisi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Daftar Penelitian Terdahulu**

No	Sumber	Cacing yang digunakan	Hasil Penelitian
1.	<i>Buys et al.</i> , 2008	Oligochaeta, Lumbriculidae	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pada kondisi yang mendukung pertumbuhan cacing dengan skala laboratorium, terjadi reduksi 40% lumpur yang terkonversi menjadi biomassa.</li> <li>• Rasio minimum w/s adalah 0,4 g berat kering/g berat kering karena pada rasio w/s 0,2 perbedaan lumpur yang tereduksi hampir sama dengan blanko sedangkan dengan rasio w/s &gt;0,6 kematian cacing akan meningkat.</li> </ul>
2.	<i>Lou et al.</i> , 2011	Oligochaeta, Tubificidae	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keberadaan cacing Tubificidae dalam sistem dapat mereduksi 75% lumpur dan meningkatkan kemampuan pengendapan lumpur.</li> <li>• Efisiensi penyisihan COD dan SS meningkat 8,7% dan 13,6% dibandingkan dengan reaktor kontrol tanpa cacing. Konsentrasi ammonia dalam sistem menjadi tinggi ketika reaktor cacing dijalankan dengan sistim kontinyu. Ketika reaktor dijalankan secara batch dengan DO 2,5 mg/L, efisiensi penyisihan PO<sub>4</sub> meningkat 12,8% dibandingkan dengan kontrol sedangkan efisiensi penyisihan NH<sub>4</sub>-N meningkat hingga 88%.</li> </ul>
3.	<i>Hendrickx et al.</i> , 2010	Oligochaeta, Lumbriculidae	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total reduksi COD, total N dan total P sebesar 42%, 39% dan 12%.</li> <li>• Hasil mineralisasi dari proses reduksi lumpur dengan cacing kebanyakan ditemukan dalam bentuk ammonia dan fosfat. Pada penelitian ini terjadi pelepasan 12.2 g NH<sub>4</sub>-N/kg TSS yang dikonsumsi and 5.4 g PO<sub>4</sub>-P/kg TSS yang dikonsumsi.</li> </ul>

No	Sumber	Cacing yang digunakan	Hasil Penelitian
4.	Huang <i>et al.</i> , 2007	Oligochaeta, Tubificidae ( <i>Tubifex tubifex</i> )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Laju reduksi lumpur dengan <i>Tubifex</i> adalah 0,18-0,81 mg-VSS mg-<i>Tubifex</i><sup>-1</sup>hari<sup>-1</sup>.</li><li>• Hasil dari penelitian secara batch menunjukkan laju peningkatan COD terlarut, ammonia dan fosfor yaitu sebesar 0.09 mg COD/mg <i>Tubifex</i>, 0.03mg NH<sub>4</sub>-N /mg <i>Tubifex</i> dan 0.0006 mg TP/mg <i>Tubifex</i></li></ul>

## **BAB 3**

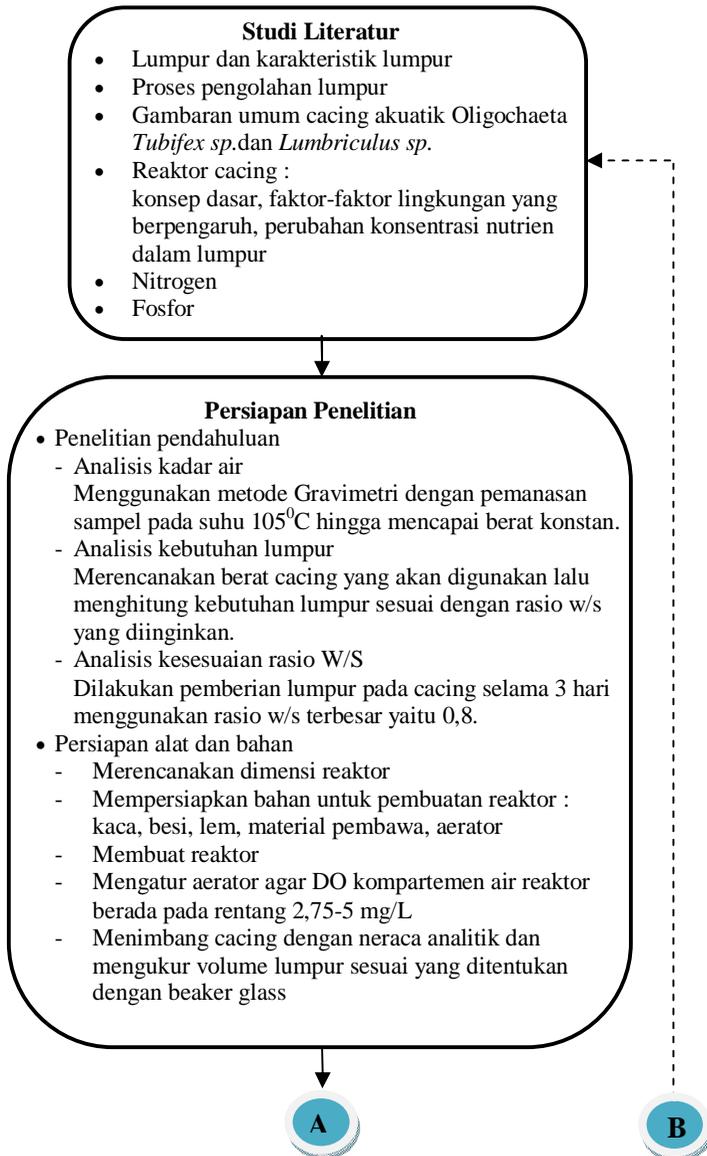
### **METODA PENELITIAN**

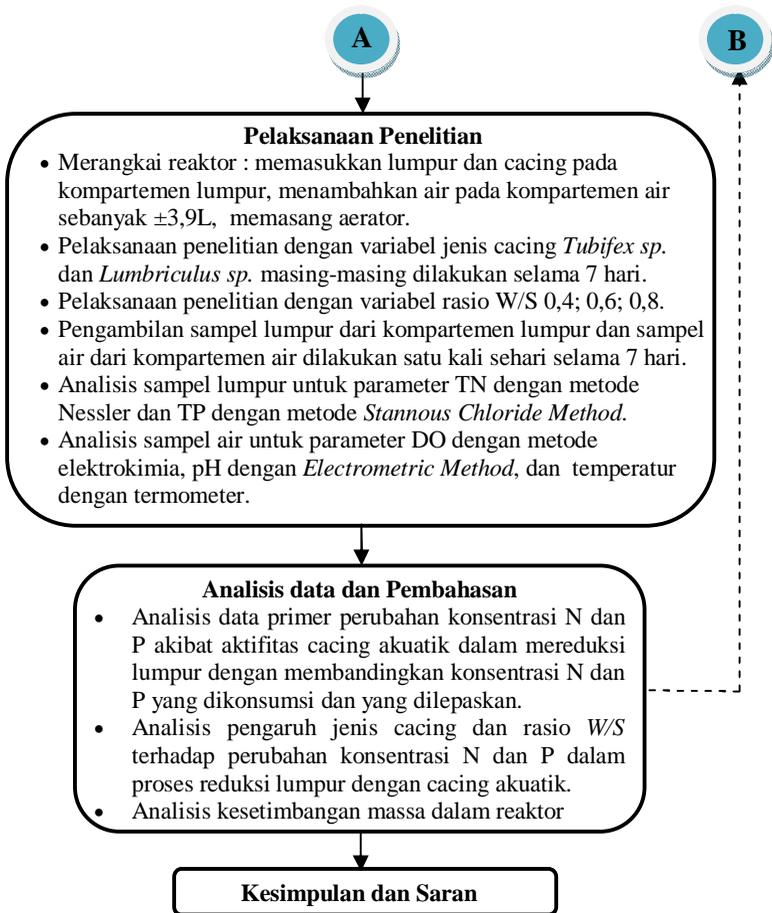
#### **3.1 Umum**

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengaruh penambahan cacing akuatik terhadap perubahan konsentrasi N dan P dalam reduksi lumpur. Penelitian dilakukan dengan menggunakan reaktor cacing akuatik yang ditambahkan *secondary sludge* dari IPAL sehingga cacing akan memanfaatkan lumpur tersebut sebagai substrat. Penelitian dilakukan dengan menggunakan variabel jenis cacing dan rasio w/s. Variasi jenis cacing yang digunakan adalah cacing *Tubifex sp.* dan *Lumbriculus sp.* Sedangkan untuk rasio w/s menggunakan variasi 0,4; 0,6 dan 0,8. Metode penelitian merupakan acuan dalam pelaksanaan penelitian ke depannya berdasarkan pada langkah kerja dalam pengumpulan data, analisis data hingga didapatkan hasil penelitian yang nantinya menjawab tujuan dari penelitian yang dilakukan.

#### **3.2 Kerangka Penelitian**

Metoda penelitian merupakan gambaran rinci penelitian yang akan menjadi pedoman atau arahan selama penelitian berlangsung. Metoda penelitian ini disusun agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan sistematis dan mudah dipahami. Dalam metoda penelitian akan diuraikan langkah kerja penelitian dari penentuan ide studi, pelaksanaan penelitian hingga analisa data dan pembahasan. Dalam penelitian ini, disusun kerangka penelitian yang merupakan gambaran visual dari metoda penelitian. Kerangka penelitian ini dibuat agar mempermudah jalannya penelitian dan menghindari terjadinya kesalahan selama penelitian berlangsung. Kerangka penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





**Gambar 3.1 Kerangka Penelitian**

### 3.3 Tahapan Penelitian

Dalam tahapan penelitian akan diuraikan mengenai urutan atau langkah kerja yang terdapat pada kerangka penelitian ini. Tujuan dari pembuatan tahapan penelitian ini adalah untuk memudahkan pemahaman dan menjelaskan melalui deskripsi tiap tahapan.

### 3.3.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini muncul karena lumpur hasil pengolahan limbah masih menandung banyak polutan sehingga diperlukan suatu pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Namun kondisi yang ada, pengolahan lumpur membutuhkan energi yang besar, lahan yang luas dan biaya yang besar, sehingga diperlukan pengolahan lumpur dengan energi dan biaya yang lebih rendah. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan cacing akuatik mereduksi lumpur. Namun, pembentukan feses sebagai hasil metabolisme cacing merupakan hal yang tidak bisa dihindari dan perlu diteliti lebih lanjut pengaruhnya terhadap kualitas efluen. Sehingga dalam penelitian ini akan dianalisis mengenai perubahan konsentrasi N dan P akibat aktifitas cacing dalam mereduksi lumpur.

### 3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari referensi yang dapat mendukung ide studi serta dapat meningkatkan pemahaman lebih jelas terhadap ide yang akan diteliti. Sumber literatur yang digunakan adalah jurnal internasional dan jurnal Indonesia, peraturan, *text book*, makalah seminar serta tugas akhir yang berhubungan dengan penelitian

### 3.3.3 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian meliputi penelitian pendahuluan dan persiapan alat-bahan yang akan digunakan selama penelitian.

#### 3.3.3.1 Penelitian Pendahuluan

Tujuan dilakukannya penelitian pendahuluan ini adalah untuk mengetahui volume reaktor yang dibutuhkan dan banyaknya cacing serta lumpur yang dimasukkan dalam reaktor. Penelitian pendahuluan yang dilakukan meliputi:

1. Analisis kadar air sampel lumpur dan cacing  
Analisis kadar air dilakukan dengan mengoven sampel lumpur dan cacing pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  hingga berat konstan. Analisis kadar air dibutuhkan untuk mengetahui

banyaknya lumpur dan cacing yang akan dimasukkan ke dalam reaktor agar memenuhi rasio w/s (dalam berat kering) yang telah ditetapkan. Kadar air dalam sampel dapat dihitung 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 hasil penelitian pendahuluan diperoleh kadar air masing-masing sampel yaitu:

Cacing *Tubifex sp.* = 75%

Cacing *Lumbriculus sp.* = 87%

Lumpur untuk *running* variasi *Tubifex sp.* = 92,4%

Lumpur untuk *running* variasi *Lumbriculus sp.* = 93,1%

## 2. Perhitungan volume lumpur yang dibutuhkan

Volume lumpur yang digunakan dalam penelitian dapat dihitung berdasarkan berat basah cacing yang telah direncanakan. Berat basah cacing diukur dengan meletakkan cacing ke wadah, kemudian ditekan-tekan dengan tisu untuk menghilangkan air yang melekat pada cacing kemudian ditimbang. Berat cacing yang akan ditambahkan pada tiap variabel dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Penambahan Cacing untuk Setiap Reaktor**

Jenis Cacing	Rasio w/s Awal	Berat Cacing yang Ditambahkan (g)
<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

Selain data berat cacing diperlukan pula data densitas dan kadar air untuk menghitung kebutuhan lumpur. Berdasarkan literatur diketahui bahwa densitas lumpur biologis adalah  $1 \text{ g/cm}^3$  (Sanin *et al*, 2011) atau  $1,015 \text{ g/cm}^3$  (Metcalf dan Eddy, 2003). Pada penelitian ini digunakan densitas lumpur hasil pengolahan biologis yaitu  $1 \text{ g/cm}^3$ . Contoh perhitungan volume lumpur untuk variasi jenis cacing *Tubifex sp.* dengan w/s 0,4 dan berat basah cacing 10 gr, adalah sebagai berikut:

- Berat kering cacing  
= Berat basah - (Berat basah x kadar air cacing)  
=  $10 \text{ g} - (10 \text{ g} \times 75\%) = 2,5 \text{ gr}$
- Berat kering lumpur dengan rasio w/s 0,4 ( $m_1$ )  
=  $2,5 \text{ g}/0,4 = 6,25 \text{ g}$
- Berat basah lumpur ( $m_0$ )  
Kadar air lumpur =  $\frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$ ,  
 $92,4\% = \frac{m_0 - 6,25}{m_0} \times 100\%$ ,  
 $0,924 = \frac{m_0 - 6,25}{m_0}$ ,  
 $m_0 = 82,2 \text{ g}$
- Volume lumpur = Berat basah lumpur/Densitas lumpur  
=  $82,2 \text{ g} / 1 \text{ g/cm}^3 = 82,2 \text{ mL}$

Dengan cara yang sama akan diperoleh kebutuhan lumpur untuk tiap variabel yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Volume Lumpur**

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	± 23,6
	0,6	± 7,5	± 23,6
	0,8	± 10	± 23,6

### 3. Analisis kesesuaian rasio w/s

Sebelum melaksanakan penelitian utama perlu dilakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui kesesuaian rasio w/s yang digunakan. Lumpur yang bermanfaat sebagai substrat bagi cacing harus mencukupi kebutuhan makanan cacing selama waktu penelitian (7 hari) sehingga kematian cacing tidak disebabkan karena kekurangan makanan.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan rasio w/s terbesar yaitu 0,8 untuk menjamin kecukupan lumpur rasio w/s yang lebih kecil. Pada tahap ini akan dilakukan pemberian lumpur setiap hari sebagai substrat untuk cacing dan diamati penurunan lumpur yang terjadi selama 3 hari. Kebutuhan lumpur dan cacing untuk analisis ini adalah sebagai berikut:

*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 = 23,6 mL/7 hari

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

Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa secara fisik lumpur yang diberikan setiap hari masih bersisa baik untuk cacing *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.* Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan rasio 0,4; 0,6 dan 0,8 dapat mencukupi kebutuhan cacing selama waktu penelitian. Dengan demikian cacing tidak akan mati akibat kekurangan makanan.

### 3.3.3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini perlu dilakukan persiapan alat dan bahan yang nantinya akan digunakan selama penelitian. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Reaktor uji

Jumlah reaktor yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah 56 buah yang terdiri dari 42 reaktor uji dan 14 reaktor kontrol. Reaktor kontrol merupakan reaktor dengan kondisi yang sama seperti reaktor uji tetapi tidak ditambahkan cacing. Reaktor kontrol digunakan untuk mengetahui perubahan konsentrasi N dan P dalam reaktor apabila tidak ada aktifitas cacing. Rincian jumlah dan penamaan reaktor dapat dilihat pada Tabel 3.3.

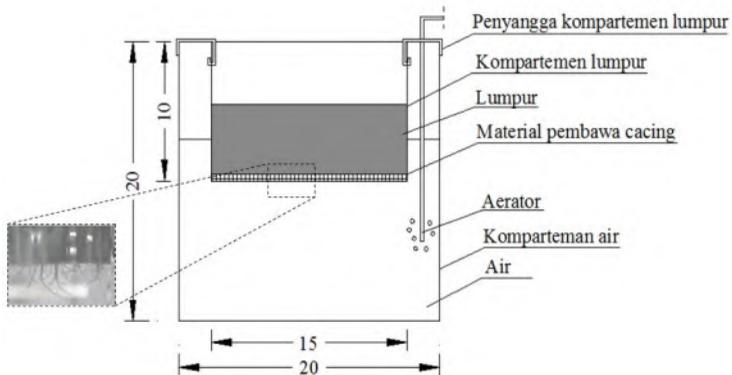
**Tabel 3.3 Rincian Jumlah dan Penamaan Reaktor**

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

Pada penelitian ini untuk variabel jenis cacing tidak dilakukan *running* secara bersamaan. Proses *running* akan dilakukan secara bergantian yaitu dengan menggunakan cacing *Tubifex sp.* terlebih dahulu baru kemudian diulangi lagi dengan menggunakan cacing *Lumbriculus sp.* Dengan demikian, total reaktor yang

dibutuhkan dalam penelitian ini hanya setengahnya saja yaitu 28 buah.

Reaktor direncanakan terbuat dari bahan kaca yang terdiri dari 2 bagian yaitu kompartemen lumpur dan kompartemen air. Kompartemen lumpur berukuran 15 cm x 15 cm x 10 cm. Ukuran kompartemen air yang digunakan lebih besar dari kompartemen lumpur dengan dimensi 20 cm x 20 cm x 20 cm. Reaktor juga dilengkapi dengan material pembawa. Material pembawa yang digunakan berupa saringan sablon yang berbahan nilon. Material pembawa ini berfungsi sebagai media menempel cacing sehingga cacing dapat mengambil substrat dari kompartemen lumpur dan mengambil oksigen dari kompartemen air. Gambar reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Sketsa Reaktor**

## 2. Aerator

Aerator berfungsi untuk memberikan suplai oksigen terlarut di dalam kompartemen air. Besarnya oksigen terlarut diatur agar berada pada kondisi yang sesuai untuk

mendukung kehidupan cacing yaitu pada rentang 2,75-5 mg/L.

3. Termometer untuk analisis temperatur.
4. pH meter untuk analisis parameter pH.
5. DO meter untuk analisis parameter DO
6. Peralatan laboratorium untuk analisis TN dan TP.

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lumpur  
Lumpur yang digunakan diambil dari bangunan *Sludge Drying Bed* (SDB) *Secondary Sludge* IPAL SIER Surabaya.
2. Cacing  
Cacing yang digunakan adalah cacing akuatik *Tubifex sp.* dan *Lumbriculus sp.* Cacing ini diperoleh dari toko pakan ikan.
3. Reagen yang diperlukan untuk analisis TN dan TP.

### 3.3.4 Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini variabel penelitian yang digunakan yaitu jenis cacing dan rasio w/s awal. Rasio w/s adalah perbandingan antara berat kering cacing dengan berat kering lumpur yang akan digunakan. Pemilihan rasio w/s pada rentang 0,4; 0,6; 0,8 tersebut didasarkan pada hasil penelitian Buys *et al.* (2008), yang menunjukkan bahwa rasio minimum w/s pada reaktor cacing adalah 0,4 g berat kering/g berat kering sedangkan rasio w/s yang terlalu tinggi akan meningkatkan mortalitas cacing akibat persaingan dalam memperoleh makanan dan oksigen. Jenis cacing juga dipilih sebagai variabel dalam penelitian ini untuk mengetahui apakah dengan jenis cacing yang berbeda akan berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi N dan P dalam reduksi lumpur dengan cacing akuatik. Variasi jenis cacing yang digunakan adalah *Tubifex sp.* dan *Lumbriculus sp.* Variabel tersebut apabila disajikan dalam bentuk tabel adalah seperti yang terlihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Variabel Penelitian**

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

Penelitian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Sampling lumpur

Sampel lumpur diambil dari bangunan *Sludge Drying Bed* untuk lumpur hasil pengolahan biologis IPAL X Surabaya. Sampel yang diambil sebanyak  $\pm 10$  L. Sampel lumpur dibawa dengan menggunakan *trash bag*.

2. Mempersiapkan cacing

Sebelum digunakan cacing dicuci terlebih dahulu dengan air mengalir selama 16-24 jam untuk menghilangkan parasit yang menempel dan membersihkan usus cacing (Buys *et al.*, 2008).

3. Merangkai reaktor

- Dimasukkan lumpur dan cacing yang telah dicuci ke dalam kompartemen lumpur reaktor dengan rasio w/s awal (berat kering) 0,4 ; 0,6 dan 0,8. Banyaknya lumpur dan cacing yang harus dimasukkan ke dalam reaktor dapat dilihat pada Tabel 3.5.
- Dimasukkan air sebanyak  $\pm 3,9$  L ke dalam kompartemen air dan aerator dikondisikan agar sesuai dengan DO yang diinginkan.
- Dianalisis kadar TN dan TP pada kompartemen lumpur dan air sebagai analisis awal saat reaktor telah dirangkai (hari ke-0).

**Tabel 3.5 Kebutuhan Lumpur dan Cacing untuk Setiap Reaktor**

<b>Kode reaktor</b>	<b>Volume Lumpur (mL)</b>	<b>Berat Basah Cacing (g)</b>
AX1-AX7	± 82,2	± 10
AY1-AY7	± 82,2	± 15
AZ1-AZ7	± 82,2	± 20
AK1-AK7	± 82,2	-
BX1-BX7	± 23,6	± 5
BY1-BY7	± 23,6	± 7,5
BZ1-BZ7	± 23,6	± 10
BK1-BK7	± 23,6	-

4. Pengambilan sampel untuk analisis laboratorium  
Sampel diambil setiap hari satu kali pada pukul 08.30 selama 7 hari berturut-turut di kompartemen lumpur, dan kompartemen air. Sampel di kompartemen lumpur diambil sebanyak ±5 ml dengan menggunakan beaker glass. Pengambilan sampel di kompartemen air dilakukan dengan menghomogenkan air dan feses terlebih dahulu baru kemudian diambil sampel sebanyak ±100 ml dengan botol kaca.
5. Analisis laboratorium  
Analisis parameter utama TN dan TP dilakukan pada sampel dari kompartemen lumpur dan air. Parameter tambahan yaitu pH, DO dan suhu diukur pada kompartemen air saja. Masing-masing parameter dianalisis setiap hari satu kali selama 7 hari berturut-turut.

### **3.3.5 Metode Analisis Laboratorium**

Metode-metode yang digunakan untuk analisis laboratorium setiap parameter antara lain:

1. Analisis *Dissolved Oxygen* (DO).  
Analisis DO dilakukan dengan metode elektrokimia menggunakan alat DO meter.
2. Analisis Temperatur.  
Analisis temperatur dilakukan dengan menggunakan alat termometer.
3. Analisis pH.  
Analisis pH dilakukan pada sampel menggunakan metode 4500 H<sup>+</sup> Electrometric Method dengan menggunakan alat *basic* pH-meter (APHA, 2005).
4. Analisis Total N  
Analisis nitrogen-amonium dilakukan dengan menggunakan metode Nessler (APHA, 2005). Prosedur pembuatan reagen dan analisisnya dapat dilihat pada LAMPIRAN A.
5. Analisa Total P  
Analisis fosfat dilakukan dengan menggunakan metode 4500-P D *Stannous Chloride Method* (APHA, 2005). Prosedur pembuatan reagen dan analisisnya dapat dilihat pada LAMPIRAN A.

### 3.3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Tahap analisis data dilakukan setelah semua data hasil penelitian didapatkan. Pada tahap analisis data akan dibahas mengenai data hasil penelitian dan dikorelasikan dengan teori yang ada. Analisis data yang digunakan adalah analisa deskriptif dimana data yang didapat divisualisasikan dengan bentuk grafik dan kemudian dibandingkan. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui perubahan N dan P dalam reaktor selama penelitian. Selain itu akan diketahui pula pengaruh rasio w/s dan jenis cacing yang paling berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi N dan P dalam reduksi lumpur pada reaktor cacing akuatik. Perhitungan *mass balance* juga dilakukan agar diketahui perubahan pencemar di dalam reaktor.

### **3.3.7 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.

## **BAB 4**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan dua kali *running*. *Running* pertama dilakukan pada tanggal 22 April 2014 hingga 29 April 2014. *Running* pertama dilaksanakan dengan variasi jenis cacing *Tubifex sp.* dengan rasio w/s 0,4; 0,6 dan 0,8. Sedangkan untuk *running* kedua dilaksanakan pada tanggal 9 Mei 2014 hingga 16 Mei 2014 menggunakan variasi jenis cacing *Lumbriculus sp.* dengan rasio w/s 0,4; 0,6 dan 0,8. Secara morfologi ukuran cacing *Tubifex sp.* lebih kecil daripada cacing *Lumbriculus sp.* Cacing *Tubifex sp.* yang digunakan untuk penelitian berukuran sekitar 1-3 cm sedangkan cacing *Lumbriculus sp.* yang digunakan berukuran sekitar ±12 cm. Lumpur yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari bangunan *Sludge Drying Bed* untuk lumpur hasil pengolahan biologis IPAL SIER Surabaya.

Parameter yang dianalisis terdiri dari parameter utama dan parameter tambahan. Parameter utama terdiri dari TN dan TP. Sedangkan parameter tambahan terdiri dari temperatur, pH dan DO. Semua parameter dianalisis setiap satu hari sekali selama 7 hari berturut-turut.

Penelitian dilakukan selama 7 hari dengan menggunakan 28 reaktor dengan variasi sebagai berikut:

- 7 buah reaktor kontrol dengan rasio w/s 0 (tanpa cacing)
- 7 buah reaktor uji dengan rasio w/s 0,4
- 7 buah reaktor uji dengan rasio w/s 0,6
- 7 buah reaktor uji dengan rasio w/s 0,8

Susunan reaktor yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Perlakuan pada reaktor untuk *running* ke-2 dengan variasi *Lumbriculus sp.* sedikit berbeda dengan *running* ke-1 dengan variasi *Tubifex sp.* seperti yang dapat dilihat pada

Lampiran B Gambar B3 dan B4. Pada variasi *Lumbriculus sp.* dilakukan penutupan pada reaktor lumpur. Hal ini dikarenakan cacing tersebut memiliki ukuran yang lebih besar daripada *Tubifex sp.* sehingga dapat merambat ke dinding reaktor untuk keluar dari reaktor. Dengan ditutupnya kompartemen lumpur diharapkan rasio w/s dalam reaktor tetap terjaga karena tidak ada cacing yang keluar. Untuk memenuhi kebutuhan oksigen yang menunjang kehidupan cacing diberikan penambahan oksigen pada kompartemen air melalui aerator secara kontinyu.



**Gambar 4.1 Susunan Reaktor Penelitian**

#### **4.2 Kondisi Lingkungan Pada Reaktor Cacing**

Reduksi lumpur menggunakan cacing berhubungan erat dengan kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas cacing akuatik dalam pengaplikasiannya (Lou *et al.*, 2013). Tingginya efisiensi reduksi lumpur dapat dicapai dengan pertumbuhan, reproduksi dan kemampuan bertahan hidup cacing yang baik dalam reaktor. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi air yang merupakan media hidup cacing. Menurut Hendrickx *et al.* (2009), kondisi lingkungan seperti temperatur, pH, oksigen terlarut, toksisitas ammonia berpengaruh pada konsumsi lumpur oleh cacing. Kondisi lingkungan yang diukur pada reaktor cacing

dalam penelitian ini meliputi parameter pH, temperatur dan oksigen terlarut. Analisis ketiga parameter tersebut dilakukan pada air dalam kompartemen air saja. Analisis ini penting dilakukan untuk mengetahui apakah kondisi lingkungan yang ada sudah cukup stabil untuk menunjang kehidupan cacing akuatik dan mempengaruhi faktor efisiensi reduksi lumpur.

#### 4.2.1 Hasil Analisis Parameter pH

Parameter pH ini perlu dianalisis karena mempengaruhi kesesuaian habitat hidup cacing. Analisis pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter. Hasil analisis parameter pH pada kompartemen air dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Hasil Analisis pH**

Waktu (hari)	pH air variasi <i>Tubifex sp.</i>				pH air variasi <i>Lumbriculus sp.</i>			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	8,22	8,17	8,07	8,11	8,56	8,41	8,36	8,33
1	8,33	8,09	7,86	7,75	8,55	8,39	8,31	8,28
2	8,18	8,34	8,04	7,95	8,27	7,98	7,86	7,91
3	7,01	7,51	7,57	7,5	8,23	7,99	7,93	7,82
4	8,08	7,65	7,89	7,75	8,37	8,2	8,27	8,25
5	7,81	7,3	7,65	7,52	8,34	8,15	8,02	7,64
6	7,84	7,59	7,55	7,47	8,43	8,01	8,05	7,99
7	8,08	7,82	7,74	7,68	8,54	8,37	8,33	8,38

Sumber: Hasil Analisis, 2014

Kondisi lingkungan pada reaktor cacing ditinjau dari parameter pH menunjukkan bahwa kondisi reaktor cukup stabil. pH air selama penelitian berada di rentang pH optimum untuk pertumbuhan cacing yakni antara 6-8. Pada pH netral atau nilai pH mendekati alkali merupakan kondisi yang paling menguntungkan untuk Tubificidae dan Lumbriculidae (Lou *et al.*, 2013). Kondisi lingkungan pada rentang pH tersebut sangat

sesuai untuk kebanyakan mikroorganisme seperti bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi.

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pH kompartemen air cenderung turun meskipun tidak signifikan. Selain itu pH pada reaktor uji selalu lebih rendah dibandingkan dengan reaktor kontrol. Pembentukan CO<sub>2</sub> dari proses respirasi yang bersifat asam dan hasil metabolisme cacing dapat mempengaruhi nilai pH. pH berhubungan dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> di perairan. Perairan yang memiliki CO<sub>2</sub> tinggi akan menyebabkan pH perairan menjadi rendah karena pembentukan asam karbonat (Wetzel, 2001). Secara umum perubahan pH harian tersebut dipengaruhi oleh suhu, oksigen terlarut, respirasi dan metabolisme organisme.

#### **4.2.2 Hasil Analisis Parameter Suhu**

Suhu merupakan faktor yang penting bagi aktifitas organisme akuatik. Suhu akan berpengaruh terhadap respirasi, pertumbuhan dan reproduksi cacing akuatik (Lou *et al.*, 2013). Suhu juga akan mempengaruhi efisiensi pencernaan lumpur dan reduksi lumpur dengan cacing akuatik (Hendrickx *et al.*, 2009).

Menurut penelitian Zhang *et al.* (2013), suhu tinggi lebih berbahaya bagi cacing dibandingkan dengan suhu rendah. Faktor penghambat pertumbuhan cacing lebih banyak muncul pada rentang suhu 30-40<sup>0</sup>C daripada rentang 5-20<sup>0</sup>C. Selain itu lebih dari 60% tubuh cacing mengandung protein, sehingga kenaikan suhu melebihi kriteria habitatnya maka proses denaturasi juga mulai berlangsung dan menghancurkan aktivitas molekul enzim.

Suhu dapat mempengaruhi sifat fisika, kimia dan biologi badan air yang merupakan media hidup bagi cacing akuatik serta dapat mempercepat proses biokimia sehingga diperlukan temperatur optimum pada setiap fase kehidupannya. Peningkatan suhu mengakibatkan penurunan kelarutan gas-gas di perairan. Berdasarkan hukum Vant Hoffs, kenaikan suhu sebesar 10<sup>0</sup>C (hanya pada kisaran temperatur yang masih ditolerir) akan meningkatkan laju metabolisme dari organisme sebesar 2-3 kali lipat. Peningkatan laju metabolisme akan mengakibatkan

peningkatan kebutuhan terhadap oksigen, sementara suhu yang meningkat akan mengakibatkan kelarutan oksigen dalam air berkurang. Hal ini mengakibatkan organisme akuatik kesulitan untuk melakukan respirasi (Effendi, 2003).

Analisis parameter suhu dilakukan dengan menggunakan termometer. Hasil analisis parameter suhu pada kompartemen air dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Hasil Analisis Suhu**

Waktu (hari)	Suhu variasi <i>Tubifex sp.</i> (°C)				Suhu variasi <i>Lumbriculus sp.</i> (°C)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	30	30	30	30	30	30	30	30
1	32	31	31	31	30	30	30	30
2	28	28	28	28	30,5	30	30	30,5
3	28	28	28	28	29,5	29	29	29,5
4	28	28	28	28	30	30	29,5	30
5	28	28	28	28	30	30	30	30
6	30	30	30	30,5	29	29	29	28,5
7	30,5	30	30	30	30	30	30	30

Sumber: Hasil Analisis, 2014

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa suhu pada reaktor cacing cenderung stabil selama penelitian berlangsung. Perubahan suhu yang terjadi pada reaktor dipengaruhi oleh suhu ruangan/lingkungan. Pada variasi *Tubifex sp.* suhu pada reaktor cacing berkisar antara 28-31<sup>0</sup>C. Suhu tersebut masih berada pada rentang yang mendukung kehidupan cacing karena suhu optimum untuk pertumbuhan cacing *Tubifex sp.* adalah pada 25-30<sup>0</sup>C (Shafrudin *et al.*, 2005). Pada variasi *Lumbriculus sp.* suhu pada reaktor uji berkisar antara 28,5-30,5<sup>0</sup>C. Suhu tersebut lebih tinggi daripada suhu optimum untuk pertumbuhan cacing *Lumbriculus sp.* yaitu 20-25<sup>0</sup>C, namun pada kondisi tersebut cacing masih mampu bertahan hidup.

Menurut Hendrickx *et al.* (2009), suhu yang rendah menyebabkan waktu tinggal dalam usus yang lebih lama pada

cacing yang berhubungan dengan rendahnya laju konsumsi dan menghasilkan tingginya laju pencernaan. Tetapi pada suhu yang lebih tinggi proses enzimatik dan bakteri berlangsung lebih cepat sehingga lumpur dengan mudah tersedia sebagai makanan bagi cacing.

### 4.2.3 Hasil Analisis Parameter DO

Parameter lain yang menentukan kondisi lingkungan adalah oksigen terlarut (DO). DO adalah salah satu parameter penting untuk mengetahui kualitas perairan. Menurut Salmin (2005), DO berperan dalam proses oksidasi bahan organik dan anorganik serta dibutuhkan oleh semua organisme untuk proses respirasi dan metabolisme.

Pada penelitian ini analisis DO bertujuan untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut dalam reaktor yang menunjang kehidupan cacing. Analisis DO dilakukan dengan menggunakan alat *Oxygen Meter Lutron DO-5510*. Hasil analisis parameter DO dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3 Hasil Analisis DO**

Waktu (hari)	DO var. <i>Tubifex sp.</i> (mg/L)				DO var. <i>Lumbriculus sp.</i> (mg/L)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	3,65	3,16	3,3	3,5	3,6	3,56	3,51	3,53
1	3,61	3,14	3,27	3,45	3,52	3,38	3,39	3,37
2	3,59	3,18	3,25	3,11	3,48	3,37	3,36	3,35
3	3,55	2,98	3,23	3,28	3,42	3,34	3,32	3,31
4	3,5	2,79	3,2	3,48	3,43	3,1	3,17	3,17
5	3,56	3,07	3,47	3,95	3,41	3,18	3,18	3,22
6	3,58	3,08	3,39	3,49	3,45	3,26	3,28	3,28
7	3,62	3,22	3,4	3,34	3,49	3,29	3,31	3,33

Sumber: Hasil Analisis, 2014

Pada cacing konsentrasi DO pada air akan berpengaruh terhadap laju defekasi, dimana laju defekasi akan lebih rendah pada kondisi anoksik (Hendickx *et al.*, 2009). Pada DO rendah cacing akan meminimalkan jumlah energi yang dihabiskan untuk mencari makanan dan secara bersamaan metabolisme cacing akan berjalan secara anaerobik yang bersifat lebih lambat. Jika cacing meminimalkan energi yang digunakan untuk mencari makanan, diharapkan waktu tinggal dalam usus menjadi lebih lama dan menghasilkan prosentase pencernaan dari lumpur yang dikonsumsi menjadi lebih tinggi.

Kondisi lingkungan pada reaktor cacing ditinjau dari parameter DO menunjukkan bahwa oksigen terlarut dalam reaktor cenderung stabil. Nilai DO tersebut masih terjaga karena pemberian aerasi secara kontinyu pada kompartemen air. Hasil analisis menunjukkan DO pada reaktor masih berada pada DO optimum yang dibutuhkan oleh cacing yaitu antara 2,75-5 mg/L (Shafrudin *et al.*, 2005).

#### **4.3 Hasil Analisis Parameter Total Nitrogen**

Analisis Total Nitrogen (TN) perlu dilakukan karena terkait dengan kebutuhan nutrisi untuk cacing dan pelepasan produk metabolisme. TN merupakan konsentrasi total dari ammonia, nitrit, nitrat dan nitrogen organik. Nitrogen diperlukan oleh semua organisme untuk sintesa protein, asam amino, asam nukleat dan senyawa organik lain yang mengandung N.

Pengambilan sampel untuk analisis TN dilakukan pada kompartemen lumpur dan kompartemen air. Analisis TN dilakukan dengan mendestruksi seluruh N yaitu N-organik, nitrit, nitrat dan amonia dalam sampel dan dirubah menjadi bentuk N-amonium. Setelah itu N-amonium yang terdapat dalam sampel dapat dianalisis dengan menggunakan metode Nessler.

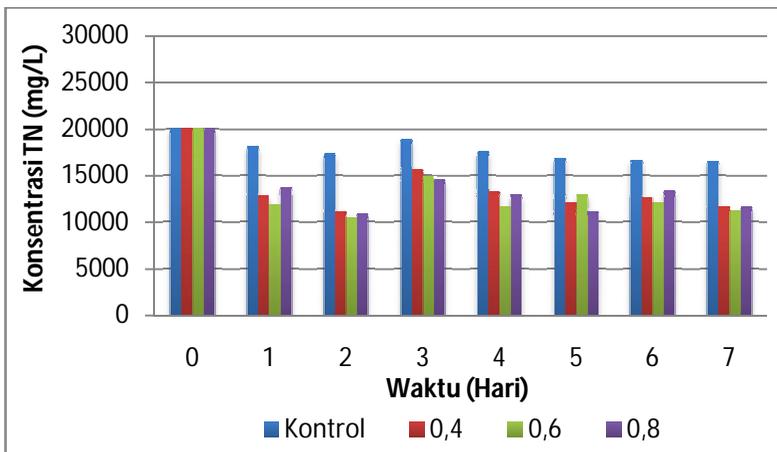
##### **4.3.1 Analisis Total Nitrogen di Lumpur**

Hasil analisis total nitrogen pada kompartemen lumpur selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.4

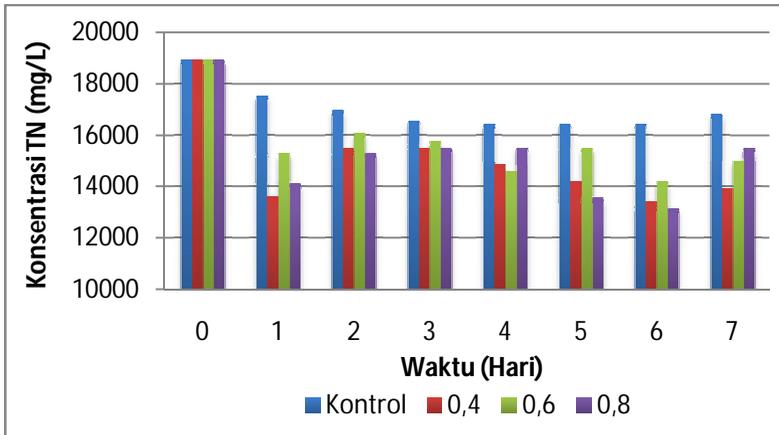
**Tabel 4.4 Hasil Analisis TN di Kompartemen Lumpur**

Waktu (Hari)	TN Tubifex (mg/L)				TN Lumbriculus (mg/L)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	20132	20132	20132	20132	18947	18947	18947	18947
1	18158	12895	11842	13816	17566	13618	15296	14112
2	17368	11184	10263	10921	16974	15493	16086	15296
3	18947	15658	14868	14605	16579	15526	15789	15526
4	17632	13289	11711	13026	16447	14868	14605	15526
5	16842	12105	13026	11184	16447	14211	15526	13553
6	16711	12632	12105	13421	16447	13421	14211	12895
7	16579	11711	11316	11711	16842	13947	15000	15526

Sumber: Hasil Analisis, 2014



**Gambar 4.2** Konsentrasi TN Lumpur Variasi *Tubifex sp.*

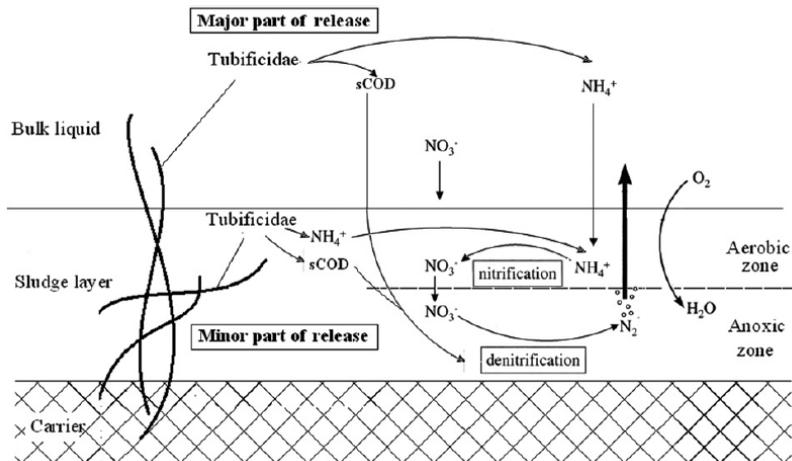


**Gambar 4.3** Konsentrasi TN Lumpur Variasi *Lumbriculus sp.*

Pada kompartemen lumpur terjadi kecenderungan penurunan konsentrasi TN baik pada variasi cacing *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3. Penurunan terjadi baik di reaktor kontrol maupun di reaktor uji. Penurunan di reaktor kontrol diperkirakan karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam lumpur. Adanya stratifikasi lapisan lumpur, pemberian aerasi dan aktivitas mikroorganisme menyebabkan terjadinya nitrifikasi dan denitrifikasi. Gambar 4.4 menunjukkan skema terbentuknya dua zona pada lapisan lumpur yaitu zona aerobik dan zona anoksik. Nitrifikasi dapat terjadi pada kondisi aerobik dengan pH 7,5-8,5. Sementara denitrifikasi akan terjadi pada zona anoksik ketika oksigen telah digunakan pada 3-5 mm pertama untuk respirasi aerobik di zona aerobik (Tian dan Lu, 2010). Nitrifikasi terjadi ketika ion ammonium dalam lumpur dioksidasi menjadi nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas* lalu nitrit akan diubah menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter*. Sementara denitrifikasi terjadi ketika nitrat dan nitrit direduksi menjadi gas  $N_2$  yang lepas ke udara.

Penurunan konsentrasi TN pada lumpur di reaktor uji merupakan hasil simbiosis antara cacing akuatik dengan

mikroorganisme yang mengakibatkan adanya reduksi lumpur dan penyisihan nutrisi (Lou *et al.*, 2011). Mekanisme penyisihan nitrogen dalam lumpur oleh cacing terjadi karena dicernanya padatan lumpur yang mengandung nitrogen organik melalui mulut cacing, yang kemudian digunakan oleh cacing sebagai nutrisi untuk pembentukan biomassa baru (Hendrickx *et al.*, 2010a) dan sisanya akan dibuang melalui feses.



**Gambar 4.4 Skema Nitrifikasi-Denitrifikasi di Kompartemen Lumpur**

Sumber: Tian dan Lu, 2010

Pada variasi *Tubifex sp.* nampak penurunan konsentrasi N total secara signifikan terjadi pada hari ke 1-2, yang menunjukkan cacing langsung mengkonsumsi N dalam lumpur sejak awal penelitian. Pada hari ke 3 konsentrasi lumpur meningkat diperkirakan karena feses yang merupakan hasil metabolisme cacing tidak jatuh di kompartemen air, sehingga tertinggal di kompartemen lumpur. Pada hari ke 4 terjadi penurunan kembali karena cacing akuatik dapat memakan lumpur aktif maupun fesesnya sendiri (Elissen, 2007). Pada hari berikutnya penurunan lumpur relatif stabil dimungkinkan karena nutrisi yang mampu dimanfaatkan oleh cacing sudah mulai habis.

Pada variasi *Lumbriculus sp.*, cacing mulai mengambil N dalam lumpur sejak hari ke 1 sehingga nampak penurunan konsentrasi N dalam lumpur yang signifikan. Pada hari selanjutnya terjadi peningkatan konsentrasi N dalam lumpur akibat pembuangan hasil metabolisme cacing yang terjadi di kompartemen lumpur. Hal ini disebabkan pada running ke-2, hampir seluruh tubuh cacing *Lumbriculus sp.* berada di kompartemen lumpur sehingga hasil metabolisme cacing tidak seluruhnya jatuh di kompartemen air. Berbeda dengan running ke-1, dimana ekor cacing *Tubifex sp.* berada di kompartemen air sehingga feses yang dihasilkan jatuh ke kompartemen air.

Efisiensi cacing *Tubifex sp.* dalam menyisihkan nitrogen dalam lumpur lebih baik daripada *Lumbriculus sp.*. Hal ini dikarenakan ukuran cacing *Tubifex sp.* yang lebih kecil sehingga dengan w/s yang sama jumlah cacing secara individual lebih banyak dan lebih banyak yang mengkonsumsi lumpur. Prosentase penyisihan untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5 Efisiensi Penyisihan TN dalam Lumpur**

Waktu (hari)	Penyisihan TN <i>Tubifex sp.</i> (%)			Penyisihan TN <i>Lumbriculus</i> <i>sp.</i> (%)				
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
1	10	36	41	31	7	28	19	26
2	14	44	49	46	10	18	15	19
3	6	22	26	27	11	18	17	18
4	12	34	42	35	13	22	23	18
5	16	40	35	44	13	25	18	28
6	17	37	40	33	13	29	25	32
7	18	42	44	42	11	26	21	18
Rata-Rata	13	36	39	37	11	24	20	23

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

Penurunan konsentrasi TN yang paling besar untuk variasi *Tubifex sp.* terjadi pada rasio w/s 0,6 dengan prosentase

penyisihan 26% lebih tinggi dibandingkan reaktor kontrol tanpa cacing. Sedangkan untuk variasi *Lumbriculus sp.* penurunan yang paling besar terjadi pada rasio w/s 0,4 dengan prosentase penyisihan TN 13% lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor kontrol tanpa cacing. Hasil ini sesuai dengan penelitian Buys *et al.* (2008), bahwa rasio w/s yang besar menyebabkan tingkat kematian cacing yang lebih tinggi karena kompetisi untuk mendapatkan makanan dan oksigen.

#### 4.3.2 Analisis Total Nitrogen di Air

Selain pada kompartemen lumpur, pengamatan juga dilakukan pada kompartemen air. Hasil analisis TN kompartemen air dapat dilihat pada Tabel 4.6.

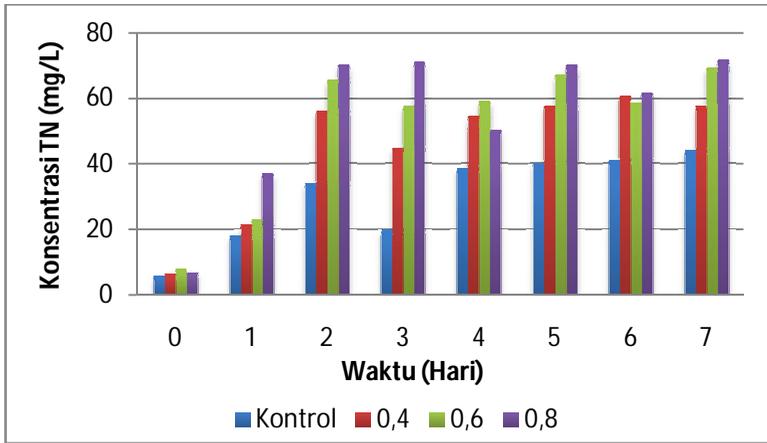
**Tabel 4.6 Hasil Analisis TN di Kompartemen Air**

Waktu (Hari)	TN var. <i>Tubifex</i> (mg/L)				TN var. <i>Lumbriculus sp.</i> (mg/L)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	5,8	6,3	7,9	6,8	3,7	3,7	3,2	3,2
1	18,2	21,3	22,9	37,1	7,4	6,1	6,3	7,4
2	33,9	56,1	65,5	70,3	15,5	22,4	22,4	24,2
3	19,7	45,0	57,6	71,1	18,7	25,3	25,8	27,1
4	38,7	54,5	59,2	50,5	19,2	27,4	27,1	27,1
5	40,3	57,6	67,1	70,3	18,7	23,4	21,3	23,9
6	41,1	60,8	58,4	61,6	17,1	18,4	18,9	21,3
7	44,2	57,6	69,5	71,8	16,3	22,4	18,9	21,8

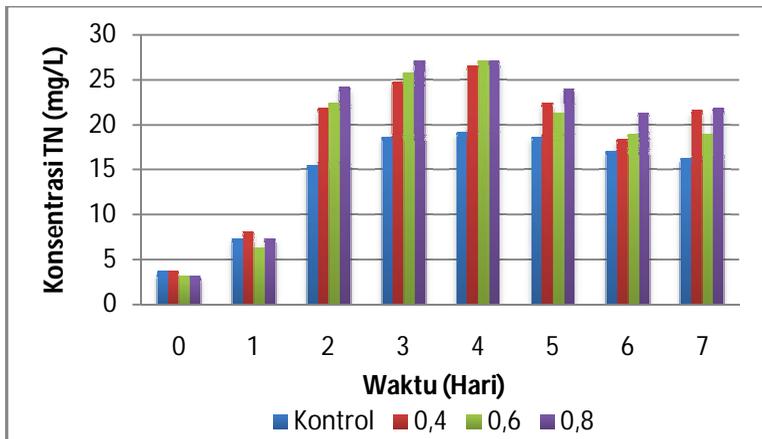
Sumber: Hasil Analisis, 2014

Pada kompartemen air terjadi peningkatan konsentrasi TN seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan 4.6. Adanya peningkatan nitrogen di kompartemen air disebabkan oleh ekskresi yang dilakukan oleh cacing untuk melepaskan produk metabolisme melalui feses maupun permukaan kulit. Amonium merupakan salah satu produk hasil metabolisme cacing akuatik

dan hasil mineralisasi nitrogen pada lumpur (Hendrickx *et al*, 2009). Selain itu adanya dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme yang menghasilkan senyawa  $\text{NH}_3$  yang turut serta meningkatkan konsentrasi nitrogen dalam reaktor kontrol.



**Gambar 4.5** Konsentrasi TN di Air Variasi *Tubifex sp.*



**Gambar 4.6** Konsentrasi TN di Air Variasi *Lumbriculus sp.*

Peningkatan konsentrasi TN tertinggi pada variasi *Tubifex sp.* terjadi pada rasio w/s 0,8 dengan peningkatan 6,8 mg/L TN pada hari ke 0 menjadi 61,6 mg/L TN pada hari ke 7 atau meningkat 9 kali dengan pelepasan nitrogen 0,011 mg TN/mg *Tubifex* hari. Sedangkan pada variasi *Lumbriculus sp.* peningkatan konsentrasi TN tertinggi juga terjadi pada rasio w/s 0,8 dengan peningkatan 3,2 mg/L TN pada hari ke 0 menjadi 21,8 mg/L TN pada hari ke 7 atau meningkat 6 kali dengan pelepasan nitrogen rata-rata 0,007 mg TN/mg *Lumbriculus* hari. Peningkatan konsentrasi N total tertinggi terjadi pada rasio w/s 0,8 karena pada rasio tersebut jumlah cacing yang dimasukkan lebih banyak sehingga konsentrasi produk hasil metabolismenya lebih besar. Peningkatan konsentrasi TN *Tubifex sp.* lebih besar daripada *Lumbriculus sp.* karena kebiasaan cacing *Tubifex sp.* untuk mengambil oksigen dengan menggerakkan ekornya sehingga lebih aktif dibandingkan dengan cacing *Lumbriculus sp.* Gerakan tersebut mengakibatkan beberapa lumpur lolos di kompartemen air sehingga air menjadi lebih keruh apabila dibandingkan dengan reaktor kontrol seperti pada Gambar B8 Lampiran B.

#### 4.4 Hasil Analisis Parameter Total Fosfor

Analisis Total Fosfor (TP) ini perlu dilakukan, karena pada dasarnya cacing juga membutuhkan fosfor sebagai makanannya. Fosfor merupakan salah satu sumber nutrisi yang dibutuhkan oleh cacing. Fosfor merupakan bahan makanan utama yang digunakan oleh organisme untuk pertumbuhan dan sumber energi. Selain itu, fosfor merupakan bagian dari sel DNA dan berperan penting dalam metabolisme seperti fotosintesis dan respirasi (Sanin *et al.*, 2011).

Pengambilan sampel untuk analisis TP dilakukan pada kompartemen lumpur dan air. Analisis TP dilakukan dengan menghidrolisa seluruh P dalam sampel dan dirubah menjadi bentuk  $\text{PO}_4^{3-}$ . Setelah itu  $\text{PO}_4^{3-}$  yang terdapat dalam sampel dapat dianalisis dengan menggunakan metode *Stannous Chloride*.

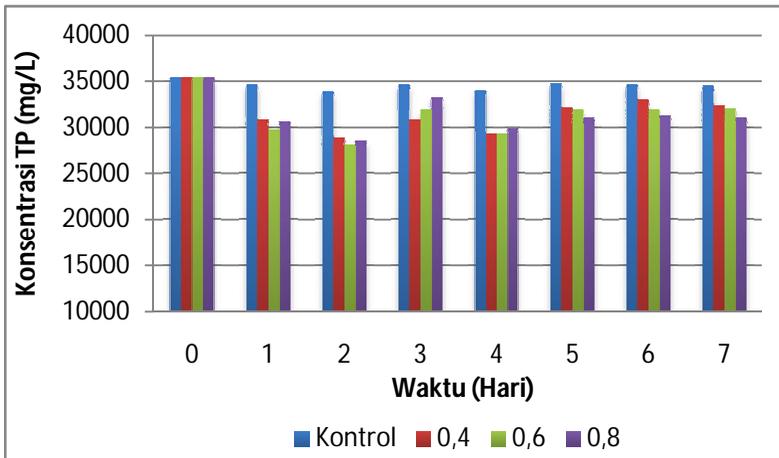
#### 4.4.1 Analisis Total Fosfor di Lumpur

Hasil analisis TP pada kompartemen lumpur dapat dilihat pada Tabel 4.7, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

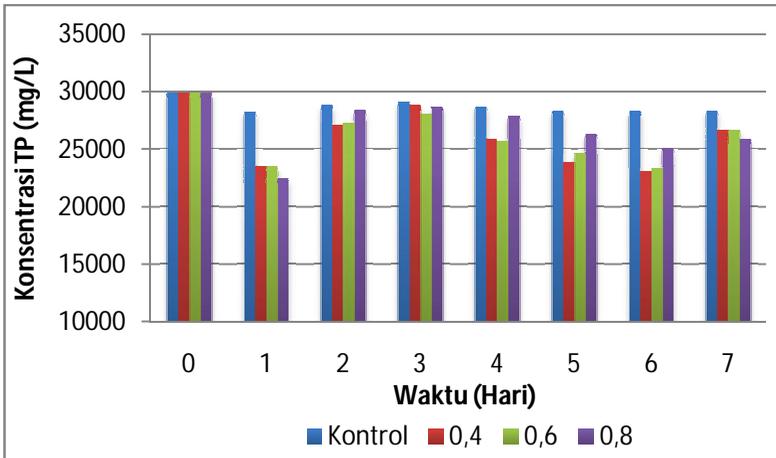
**Tabel 4.7 Hasil Analisis TP di Kompartemen Lumpur**

Waktu (Hari)	TP var. <i>Tubifex</i> (mg/L)				TP var. <i>Lumbriculus sp.</i> (mg/L)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	35374	35374	35374	35374	29960	29960	29960	29960
1	34615	30820	29757	30668	28239	23532	23532	22470
2	33856	28846	28087	28543	28846	27176	27328	28391
3	34615	30820	31883	33249	29150	28846	28138	28745
4	34008	29302	29302	29909	28745	25911	25709	27935
5	34767	32186	31883	30972	28340	23887	24696	26316
6	34615	32945	31883	31275	28340	23077	23392	25101
7	34464	32338	32034	30972	28340	26721	26721	25911

Sumber: Hasil Analisis, 2014



**Gambar 4.7 Konsentrasi TP di Lumpur Variasi Cacing *Tubifex sp.***



**Gambar 4.8** Konsentrasi TP di Lumpur Variasi Cacing *Lumbriculus sp.*

Pada kompartemen lumpur terjadi kecenderungan penurunan konsentrasi TP baik pada variasi cacing *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.* yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan 4.8. Penurunan terjadi baik di reaktor kontrol maupun di reaktor uji. Penurunan TP pada reaktor kontrol terjadi karena fosfor merupakan nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam lumpur untuk pembentukan energi, protein dan metabolisme bagi organisme. (Effendi, 2003). Sedangkan penurunan pada reaktor uji terjadi karena konsumsi bahan organik yang berikatan dengan unsur P dalam lumpur oleh cacing. Menurut Hendrickx *et al.* (2010a), fosfor dalam lumpur dimanfaatkan oleh cacing sebagai sumber nutrisi untuk membentuk biomassa baru.

Pada reaktor uji penurunan konsentrasi TP yang paling besar untuk variasi *Tubifex sp.* terjadi pada rasio w/s 0,6 dengan prosentase penyisihan 11% lebih tinggi dibandingkan reaktor kontrol tanpa cacing. Sedangkan untuk variasi *Lumbriculus sp.* penurunan TP yang paling besar terjadi pada rasio w/s 0,4 dengan prosentase penyisihan TP 9% lebih tinggi dibandingkan dengan

reaktor kontrol tanpa cacing. Prosentase penyisihan untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8 Efisiensi Penyisihan TP dalam Lumpur**

Waktu (Hari)	Penyisihan TP Tubifex sp. (%)			Penyisihan TP Lumbriculus sp. (%)				
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
1	2	13	16	13	6	21	21	25
2	4	18	21	19	4	9	9	5
3	2	13	10	6	3	4	6	4
4	4	17	17	15	4	14	14	7
5	2	9	10	12	5	20	18	12
6	2	7	10	12	5	23	22	16
7	3	9	9	12	5	11	11	14
Rata-Rata	3	12	14	13	5	14	13	12

Sumber: Hasil Analisis, 2014

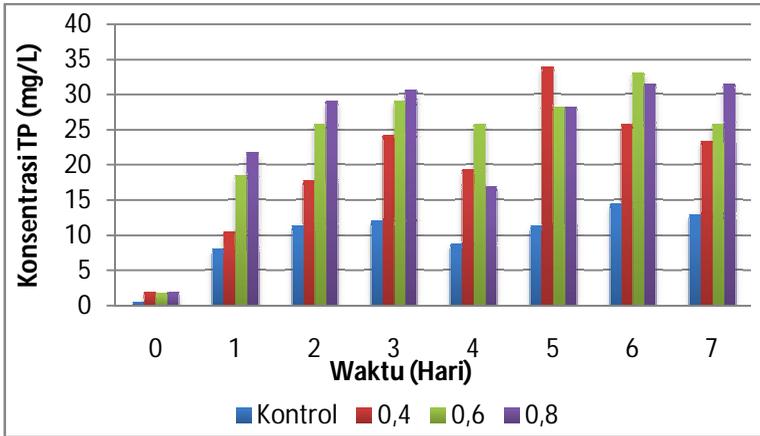
#### 4.4.2 Analisis Total Fosfor di Air

Selain pada kompartemen lumpur, pengamatan juga dilakukan pada kompartemen air. Hasil analisis TP kompartemen air dapat dilihat pada Tabel 4.9, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.

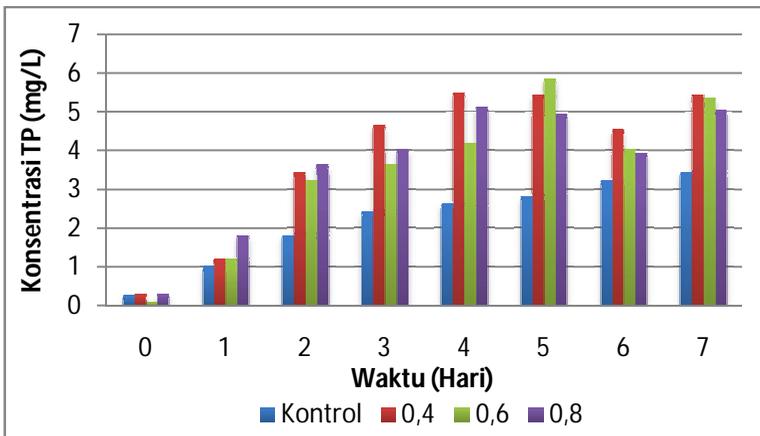
**Tabel 4.9 Hasil Analisis TP di Kompartemen Air**

Waktu (Hari)	TP var. Tubifex (mg/L)			TP var. Lumbriculus (mg/L)				
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	0,6	2,0	1,8	1,9	0,3	0,3	0,1	0,3
1	8,1	10,5	18,6	21,9	1,0	1,2	1,2	1,8
2	11,3	17,8	25,9	29,1	1,8	3,4	3,2	3,6
3	12,1	24,3	29,1	30,8	2,4	4,7	3,6	4,0
4	8,9	19,4	25,9	17,0	2,6	5,5	4,2	5,1
5	11,3	34,0	28,3	28,3	2,8	5,5	5,9	5,0
6	14,6	25,9	33,2	31,6	3,2	4,6	4,0	3,9
7	13,0	23,5	25,9	31,6	3,4	5,5	5,4	5,1

Sumber: Hasil Analisis, 2014



**Gambar 4.9** Konsentrasi TP di Air Variasi *Tubifex sp.*



**Gambar 4.10** Konsentrasi TP di Air Variasi *Lumbriculus sp.*

Pada kompartemen air terjadi peningkatan konsentrasi TP. Peningkatan konsentrasi TP tertinggi baik pada variasi *Tubifex sp.* maupun *Lumbriculus sp.* terjadi pada rasio w/s 0,8. Peningkatan terjadi karena cacing melepaskan produk hasil metabolismenya

yaitu feses ke kompartemen air. Feses cacing selain mengandung nitrogen dalam jumlah yang besar juga mengandung fosfor dan potassium serta trace mineral seperti Fe, Ca, Mg, S, Cu, Zn dan Mn dalam jumlah yang kecil. Menurut Rahmatullah *et al.* (2010), makanan yang melewati pencernaan cacing akan diubah menjadi bentuk P terlarut oleh enzim pencernaan cacing. Fosfor yang dilepaskan oleh cacing ke air kebanyakan dalam bentuk orthofosfat yang mudah dimanfaatkan oleh bakteri dalam lumpur aktif (Wei *et al.*, 2009).

Pada reaktor kontrol juga terjadi peningkatan konsentrasi P akibat lolosnya beberapa lumpur yang berukuran kecil melalui material pembawa. Mikroorganisme dalam lumpur akan menghasilkan enzim-enzim yang akan menghidrolisis komponen fosfat organik dalam lumpur menjadi fosfat bentuk anorganik terlarut (Suliasih dan Rahmat, 2007). Pembentukan fosfat anorganik terlarut tersebut turut meningkatkan konsentrasi P pada kompartemen air.

Peningkatan konsentrasi Total P pada variasi *Tubifex* yaitu dari 1,9 mg/L TP pada hari ke 0 menjadi 31,6 mg/L TP pada hari ke 7 dengan pelepasan 0,005 mg TP/mg *Tubifex* hari. Sedangkan untuk variasi *Lumbriculus sp.* peningkatan konsentrasi TP yaitu dari 0,3 mg/L TP pada hari ke 0 menjadi 5,1 mg/L TP pada hari ke 7 dengan pelepasan 0,0014 mg TP/mg *Lumbriculus* hari. Peningkatan konsentrasi P total terjadi pada rasio w/s tertinggi karena pada rasio tersebut jumlah cacing yang dimasukkan lebih banyak sehingga konsentrasi produk hasil metabolismenya lebih besar.

#### **4.5 Kesetimbangan Massa dalam Reaktor**

Kesetimbangan massa dalam reaktor cacing perlu dihitung agar diketahui perpindahan atau jalannya pencemar dalam proses reduksi lumpur oleh cacing. Dengan adanya perhitungan kesetimbangan massa dapat diketahui besarnya pencemar yang dimasukkan dalam reaktor, yang terakumulasi atau tersimpan dalam cacing dan yang keluar dari sistem tersebut.

#### 4.5.1 Kestimbangan Massa TN dalam Reaktor

Untuk mengetahui kestimbangan massa dalam reaktor maka perlu dilakukan perhitungan massa TN pada lumpur dan pada air. Berikut contoh perhitungan massa N pada reaktor kontrol variasi *Tubifex sp.*:

$$M \text{ (mg)} = C \text{ (mg/L)} \times V \text{ (L)}$$

$$M \text{ TN di lumpur hari ke 0} = 20132 \text{ mg/L} \times 0,082 \text{ L} = 1651 \text{ mg}$$

$$M \text{ TN di lumpur hari ke 1} = 18158 \text{ mg/L} \times 0,082 \text{ L} = 1489 \text{ mg}$$

$$M \text{ TN yang berkurang} = 1651 \text{ mg} - 1489 \text{ mg} = 162 \text{ mg}$$

$$M \text{ TN di air hari ke 0} = 5,8 \text{ mg/L} \times 3,9 \text{ L} = 23 \text{ mg}$$

$$M \text{ TN di air hari ke 1} = 18,2 \text{ mg/L} \times 3,9 \text{ L} = 71 \text{ mg}$$

$$M \text{ TN yang bertambah} = 71 \text{ mg} - 23 \text{ mg} = 48 \text{ mg}$$

Hasil perhitungan massa selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

Setelah diketahui massa TN yang bertambah dalam air dan yang berkurang dalam lumpur dapat dicari selisih antara pengurangan TN di lumpur dengan penambahan TN di air seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11. Selisih yang diperoleh merupakan besarnya nitrogen yang hilang pada sistem selama proses reduksi lumpur.

**Tabel 4.10 Perbandingan TN yang Berkurang di Lumpur dan yang Bertambah di Air Variasi *Tubifex sp.***

Waktu (hari)	Kontrol			w/s 0,4			w/s 0,6			w/s 0,8		
	Lumpur	Air	Selisih									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	162	48	114	593	59	535	680	59	621	518	118	400
2	227	110	117	734	194	540	788	225	563	755	247	508
3	97	54	43	367	151	216	432	194	238	453	250	203
4	205	128	77	561	188	373	691	200	490	583	170	412
5	270	134	135	658	200	458	583	231	352	734	247	486
6	281	138	143	615	212	403	658	197	461	550	213	337
7	291	150	141	691	200	490	723	240	483	691	254	437

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel 4.11 Perbandingan TN yang Berkurang di Lumpur dan yang Bertambah di Air Variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (hari)	Kontrol			w/s 0,4			w/s 0,6			w/s 0,8		
	Lumpur	Air	Selisih									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	35	14	20	133	17	116	91	12	79	121	16	104
2	49	46	3	86	71	16	72	75	-3	91	82	9
3	59	59	1	86	82	3	79	88	-9	86	93	-8
4	62	61	2	102	89	13	109	93	15	86	93	-8
5	62	59	4	118	73	46	86	71	15	135	81	54
6	63	52	10	138	57	81	118	62	57	145	71	74
7	53	49	3	125	70	55	99	62	37	86	73	13

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

Berdasarkan Tabel 4.10 dan 4.11 dapat diketahui bahwa selisih antara pengurangan N dengan penambahan N yang terjadi pada reaktor kontrol lebih kecil dibandingkan dengan uji. Adanya selisih pada reaktor kontrol menunjukkan massa nitrogen yang keluar dari sistem karena aktivitas mikroorganisme dalam lumpur. Massa nitrogen yang hilang dapat terjadi karena pemanfaatan N dalam lumpur oleh mikroorganisme yang digunakan untuk pembentukan protein dan asam amino (Sawyer *et al.*, 2003). Selain itu nitrogen yang hilang juga dikarenakan adanya perubahan fase nitrogen menjadi bentuk gas  $N_2$  karena terjadinya mekanisme nitrifikasi-denitrifikasi pada kompartemen lumpur (Tian dan Lu, 2010).

Pada reaktor uji adanya selisih antara pengurangan dan penambahan N atau adanya N yang hilang terjadi karena adanya simbiosis antara mikroorganisme dengan cacing. Selisih antara nitrogen yang hilang pada reaktor uji dengan reaktor kontrol merupakan besarnya nitrogen organik yang dikonsumsi oleh cacing. Nitrogen yang dikonsumsi merupakan nitrogen dalam bentuk organik. Hal ini dikarenakan hewan tidak mampu menggunakan nitrogen dari atmosfer ataupun nitrogen dalam bentuk anorganik untuk memproduksi protein sehingga harus memanfaatkan bahan organik di sekitarnya (Sawyer *et al.*, 2003).

Nitrogen tersebut berguna untuk memenuhi kebutuhan nutrisi cacing yang menunjang kehidupannya,

Pada Tabel 4.11 yaitu untuk variasi *Lumbriculus sp.* dapat dilihat pada rasio w/s 0,6 dan 0,8 pada hari ke 2-4 terjadi kondisi pertambahan N lebih besar daripada penurunan N. Hal ini dimungkinkan karena terjadi akumulasi feses cacing dan pembentukan senyawa hasil dekomposisi bahan organik oleh bakteri pada kompartemen air. Di sisi lain pada karena pemisahan yang kurang sempurna antara kompartemen lumpur dan air sehingga feses cacing tertinggal di kompartemen lumpur dan menambah konsentrasi N pada lumpur.

#### 4.5.2 Kestimbangan Massa TP dalam Reaktor

Untuk mengetahui kestimbangan massa dalam reaktor maka perlu dilakukan perhitungan massa TP pada lumpur dan pada air. Perhitungan massa TP dilakukan dengan cara yang sama seperti pada perhitungan massa TN sebelumnya. Hasil perhitungan massa TP selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C. Setelah dihitung massa TP yang bertambah dan yang berkurang data dicari selisih antara pengurangan TP di lumpur dengan penambahan TP di air seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13.

**Tabel 4.12 Perbandingan TP yang Berkurang di Lumpur dan yang Bertambah di Air Variasi *Tubifex sp.***

Waktu (hari)	Kontrol			w/s 0,4			w/s 0,6			w/s 0,8		
	Lumpur	Air	Selisih									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	62	29	33	373	33	340	461	66	395	386	78	308
2	124	42	83	535	62	474	598	94	504	560	106	454
3	62	45	17	373	87	287	286	107	180	174	113	62
4	112	32	80	498	68	430	498	94	404	448	59	389
5	50	42	8	261	125	137	286	103	183	361	103	258
6	62	54	8	199	93	106	286	122	164	336	116	220
7	75	48	27	249	84	165	274	94	180	361	116	245

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel 4.13 Perbandingan TP yang Berkurang di Lumpur dan yang Bertambah di Air Variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (hari)	Kontrol			w/s 0,4			w/s 0,6			w/s 0,8		
	Lumpur	Air	Selisih									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	43	3	40	161	4	157	161	4	156	187	6	181
2	28	6	22	70	12	57	66	12	54	39	13	26
3	20	8	12	28	17	11	46	14	32	30	15	16
4	30	9	21	101	20	81	106	16	90	51	19	32
5	40	10	30	152	20	132	132	23	109	91	18	73
6	40	12	29	172	17	155	164	15	149	121	14	107
7	40	12	28	81	20	61	81	21	60	101	19	83

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

Tabel 4.12 dan 4.13 menunjukkan adanya selisih antara penambahan TP dengan pengurangan TP baik di reaktor uji maupun reaktor kontrol. Adanya selisih tersebut menunjukkan bahwa TN yang dikonsumsi oleh cacing lebih besar dibandingkan dengan TN yang dilepaskan cacing sebagai hasil metabolisme. Selisih pada reaktor kontrol paling kecil bila dibandingkan dengan uji. Hal ini dikarenakan pada reaktor kontrol hanya terjadi akibat aktivitas mikroorganisme dalam lumpur sehingga adanya selisih atau penurunan P terjadi karena pemanfaatan P sebagai sumber nutrisi bagi mikroorganisme. Sedangkan pada reaktor uji selisih antara pengurangan dan penambahan P lebih besar karena adanya penambahan cacing akuatik yang mengkonsumsi komponen P dalam lumpur.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini antara lain:

1. Penambahan cacing akuatik *Tubifex sp.* dalam reduksi lumpur dapat menurunkan konsentrasi total N dan total P dalam lumpur dengan prosentase penyisihan lebih tinggi yaitu 26% dan 11% serta melepaskan N dan P yang lebih besar pula dibandingkan dengan cacing *Lumbriculus sp.* yaitu 0,011 mg-TN/mg-*Tubifex* hari dan 0,005 mg-TP/mg-*Tubifex* hari.
2. Pada penelitian ini rasio w/s cukup memberikan pengaruh terhadap perubahan konsentrasi N dan P dalam reduksi lumpur. Rasio w/s yang paling baik untuk penyisihan N dan P adalah pada rasio 0,6 untuk cacing *Tubifex sp.* dan 0,4 untuk cacing *Lumbriculus sp.* Rasio w/s yang lebih besar yaitu 0,8 menunjukkan hasil efisiensi penyisihan N dan P dalam lumpur yang lebih rendah dan mengakibatkan tingginya pelepasan N dan P di air.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang berkaitan dengan mekanisme penyisihan dan pelepasan nutrisi oleh cacing.
2. Perlu dilakukan pengkajian untuk meminimalkan pelepasan nutrisi pada effluen akibat aktivitas cacing akuatik seperti dengan pengaturan sistem aerasi.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LAMPIRAN A

### PROSEDUR PEMBUATAN REAGEN DAN ANALISIS

- **ANALISIS TOTAL N**

Prosedur Pembuatan Reagen

1. Reagen Nessler  
Timbang 100 gram  $\text{HgI}_2$  dan 70 gram KI lalu digerus masing-masing dalam cawan petri sampai halus. Kemudian dilarutkan dalam 160 gram  $\text{NaOH}/500 \text{ mL}$ . Campur semuanya dan encerkan sampai 1 L menggunakan aquadest.
2. Garam Siegnette  
Timbang 100 gram K.Na. Titrat lalu dilarutkan dalam 300 mL aquadest.
3. Larutan Standar Amonium  
Timbang secara teliti, 0,2966 gram  $\text{NH}_4\text{Cl}$  lalu larutkan dengan aquadest sampai 1 L.
4. Digest N  
Timbang 134 gram  $\text{K}_2\text{SO}_4$  dan 7,3 gram  $\text{CuSO}_4$  lalu larutkan dengan aquadest sebanyak 800 mL. Encerkan menggunakan aquadest sampai 1 L.

Peralatan

1. Tabung *kjehdal*
2. Spektrofotometer
3. Pipet
4. Pemanas
5. Erlenmeyer

Prosedur analisis

1. 25 mL sampel diletakkan di tabung *kjeldahl* lalu ditambah 1 mL garam siegnette dan dipanaskan sampai air hampir kering.
2. Air sisa pemanasan diambil kemudian ditambahkan 10 mL aquadest dan 3 tetes indikator PP.

3. Setelah itu sampel ditetesi dengan NaOH 6N sampai sampel berubah warna menjadi pink kemudian ditambahkan aquadest sampai 25 mL.
4. Sampel yang sudah dianalisis yang volumenya 25 mL ini ditambahi dengan 1 mL reagen nessler.
5. Ditambahkan 3 tetes larutan digest N, biarkan sampel dingin selama 10 menit lalu dibaca di spektrofotometer dengan panjang gelombang 410 nm.

- **ANALISIS TOTAL P**

Prosedur Pembuatan Reagen

1. Larutan Ammonium Molibdate  
Larutkan 25 gram  $(\text{NH}_4\text{S}_6\text{M}_9\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O})$  dalam 175 mL aquadest + 280  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat. Encerkan dengan aquadest sampai 1 L.
2. Larutan  $\text{SnCl}_2$   
Larutkan 2,5 gram  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dalam 100 mL *glycerol*, aduk terus hingga merata berwarna putih susu kemudian panaskan dalam *water bath* dan diaduk terus hingga larutan menjadi jernih dan tidak berwarna.
3. Larutan Stock Pospat  
Larutkan 0,7165 gram  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dengan aquadest sampai 1 L dalam labu ukur.
4. Strong Acid Solution  
Campurkan 400 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat dengan 4 mL  $\text{HNO}_3$  pekat lalu encerkan dengan aquadest hingga 1 L.
5. Larutan indikator PP

Peralatan

1. Tabung *kjeldahl*
2. Pemanas
3. Pipet
4. Erlenmeyer

## 5. Spektrofotometer

### Prosedur analisis

1. 25 mL air sampel diletakkan pada tabung *kjeldahl* lalu ditambah dengan  $\frac{1}{2}$  ml larutan digest P dan dipanaskan sampai air hampir kering.
2. Air sisa pemanasan diambil kemudian ditambahkan 10 mL aquadest dan 3 tetes indikator PP.
3. Jika sampel berubah warna menjadi pink ditambahkan larutan asam kuat hingga warnanya hilang kemudian ditambahkan aquadest sampai 25 mL.
4. Sampel yang sudah dianalisis yang volumenya 25 mL ini ditambahkan dengan 1 mL larutan ammonium molibdate.
5. Ditambahkan 3 tetes larutan  $\text{SnCl}_2$ , biarkan sampel dingin selama 10 menit lalu dibaca di spektrofotometer 650 nm.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar B1. *Tubifex sp*



Gambar B2. *Lumbriculus sp*



Gambar B3. Running ke-1  
dengan *Tubifex sp*



Gambar B4. Running ke-2  
dengan *Lumbriculus sp*



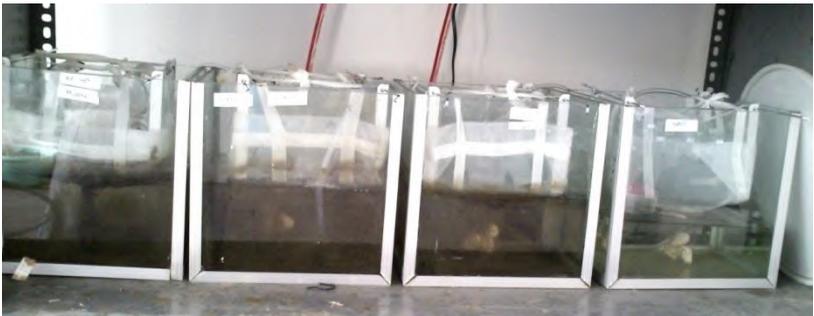
Gambar B5. Kompartemen Lumpur



Gambar B6. Kompartemen lumpur running ke-2 hari ke 7  
dari kiri 0,4; 0,6; 0,8



Gambar B7. Kompartemen lumpur running ke-1 hari ke 7



Gambar B8. Kompartemen air reaktor uji dibandingkan dengan reaktor kontrol (paling kanan)

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LAMPIRAN C HASIL PERHITUNGAN MASSA

**Tabel C.1 Massa TN di Lumpur Variasi *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	Massa TN di Lumpur (mg)				Massa TN yang berkurang (mg)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	1651	1651	1651	1651	0	0	0	0
1	1489	1057	971	1133	162	593	680	518
2	1424	917	863	896	227	734	788	755
3	1554	1284	1219	1198	97	367	432	453
4	1446	1090	960	1068	205	561	691	583
5	1381	993	1068	917	270	658	583	734
6	1370	1036	993	1101	281	615	658	550
7	1359	960	928	960	291	691	723	691

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel C.2 Massa TN di Air Variasi *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	Massa TN di air (mg)				Massa TN yang bertambah di air (mg)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	23	25	31	27	0	0	0	0
1	71	83	89	145	48	59	59	118
2	132	219	256	274	110	194	225	247
3	77	176	225	277	54	151	194	250
4	151	212	231	197	128	188	200	170
5	157	225	262	274	134	200	231	247
6	160	237	228	240	138	212	197	213
7	172	225	271	280	150	200	240	254

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel C.3 Massa TN di Lumpur Variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Massa TN di Lumpur (mg)				Massa TN yang berkurang (mg)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	474	474	474	474	0	0	0	0
1	439	340	382	353	35	133	91	121
2	424	387	402	382	49	86	72	91
3	414	388	395	388	59	86	79	86
4	411	372	365	388	62	102	109	86
5	411	355	388	339	62	118	86	135
6	411	336	355	329	63	138	118	145
7	421	349	375	388	53	125	99	86

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel C.4 Massa TN di Air Variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Massa TN di air (mg)				Massa TN yang bertambah di air (mg)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	14	14	12	12	0	0	0	0
1	29	32	25	29	14	17	12	16
2	61	85	87	94	46	71	75	82
3	73	96	101	106	59	82	88	93
4	75	104	106	106	61	89	93	93
5	73	87	83	93	59	73	71	81
6	67	72	74	83	52	57	62	71
7	64	84	74	85	49	70	62	73

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel C.5 Massa TP di Lumpur Variasi *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	Massa TP di Lumpur (mg)				Massa TP yang berkurang (mg)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	2901	2901	2901	2901	0	0	0	0
1	2838	2527	2440	2515	62	373	461	386
2	2776	2365	2303	2340	124	535	598	560
3	2838	2527	2614	2726	62	373	286	174
4	2789	2403	2403	2453	112	498	498	448
5	2851	2639	2614	2540	50	261	286	361
6	2838	2702	2614	2565	62	199	286	336
7	2826	2652	2627	2540	75	249	274	361

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel C.6 Massa TP di Air Variasi *Tubifex sp.***

Waktu (Hari)	Massa TP di air (mg)				Massa TP yang bertambah di air (mg)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	2	8	7	8	0	0	0	0
1	32	41	73	85	29	33	66	78
2	44	69	101	114	42	62	94	106
3	47	95	114	120	45	87	107	113
4	35	76	101	66	32	68	94	59
5	44	133	111	111	42	125	103	103
6	57	101	129	123	54	93	122	116
7	51	92	101	123	48	84	94	116

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel C.7 Massa TP di Lumpur Variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Massa TP di Lumpur (mg)				Massa TP yang berkurang (mg)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	749	749	749	749	0	0	0	0
1	706	588	588	562	43	161	161	187
2	721	679	683	710	28	70	66	39
3	729	721	703	719	20	28	46	30
4	719	648	643	698	30	101	106	51
5	709	597	617	658	40	152	132	91
6	709	577	585	628	40	172	164	121
7	709	668	668	648	40	81	81	101

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014

**Tabel C.8 Massa TP di Air Variasi *Lumbriculus sp.***

Waktu (Hari)	Massa TP di air (mg)				Massa TP yang bertambah di air (mg)			
	Kontrol	Rasio w/s			Kontrol	Rasio w/s		
		0,4	0,6	0,8		0,4	0,6	0,8
0	1	1	0,4	1	0	0	0	0
1	4	5	5	7	3	4	4	6
2	7	13	13	14	6	12	12	13
3	9	18	14	16	8	17	14	15
4	10	21	16	20	9	20	16	19
5	11	21	23	19	10	20	23	18
6	13	18	16	15	12	17	15	14
7	13	21	21	20	12	20	21	19

Sumber: Hasil Perhitungan, 2014