



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH AERASI TERHADAP PENYISIHAN KONSENTRASI  
AMONIA LINDI PADA BIOREAKTOR *LANDFILL***

**SKRIPSI**

**AFRIZAL CITRA PRADANA  
1106001611**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2015**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**THE EFFECT OF AERATION ON AMMONIA REMOVAL IN  
BIOREACTOR LANDFILL LEACHATE**

**FINAL REPORT**

**AFRIZAL CITRA PRADANA  
1106001611**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JUNE 2015**

227/FT.TL.01/SKRIP/6/2015



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH AERASI TERHADAP PENYISIHAN KONSENTRASI  
AMONIA LINDI PADA BIOREAKTOR *LANDFILL***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**AFRIZAL CITRA PRADANA  
1106001611**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2015**

227/FT.TL.01/SKRIP/6/2015



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**THE EFFECT OF AERATION ON AMMONIA REMOVAL IN  
BIOREACTOR LANDFILL LEACHATE**

**FINAL REPORT**

**Proposed as one of the requirement to obtain a Bachelor's degree**

**AFRIZAL CITRA PRADANA  
1106001611**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JUNE 2015**

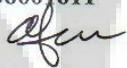
**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Afrizal Citra Pradana  
NPM : 1106001611  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 22 Juni 2015

## STATEMENT OF AUTHENTICITY

I declare this final report of one of my own research,  
and all of references either quoted or cited here  
have been mentioned properly.

Name : Afrizal Citra Pradana  
Student ID : 1106001611  
Signature :   
Date : June 22<sup>nd</sup>, 2015

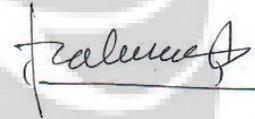
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Afrizal Citra Pradana  
NPM : 1106001611  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Pengaruh Aerasi Terhadap  
Penyisihan Konsentrasi Amonia Lindi pada  
Bioreaktor *Landfill*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Gabriel S. B. Andari K., M.Eng., Ph.D



Penguji : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA



Penguji : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Juni 2015

## STATEMENT OF LEGITIMATION

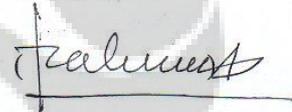
This final report submitted by:

Name : Afrizal Citra Pradana  
Student ID : 1106001611  
Study Program : Environmental Engineering  
Final Report Title : The Effect of Aeration on Ammonia  
Removal in Bioreactor Landfill Leachate

Has been successfully defended before the Council Examiners and was accepted as part of the requirement necessary to obtain Bachelor of Engineering in Environmental of Engineering Program, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia.

### Board of Examiners

Advisor : Ir. Gabriel S. B. Andari K., M.Eng., Ph.D



Examiner : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA



Examiner : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr.



Defined in : Depok

Date : June 22<sup>nd</sup>, 2015

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Swt. karena atas rahmat dan hidayahnya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Saya menyadari ada banyak pihak yang turut membantu pengerjaan skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Ir. Gabriel Soedarmini Boedi Andari K., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing atas segala kesediaan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk memberikan bimbingan selama proses pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak-bapak dan ibu-ibu dosen Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan Universitas Indonesia yang memberikan masukan-masukan dalam penyusunan skripsi.
3. Ibu Licka dan Ibu Diah selaku laboran yang telah memberikan bantuan dan masukan selama proses penelitian.
4. Gary Alfrits Muntu Adam dan Eliza Sinta Theresia selaku rekan penelitian yang memberikan banyak saran dan pengetahuan.
5. Bapak Jirin yang telah membuat perlengkapan penelitian berupa kedua bioreaktor *landfill* dengan baik dan profesional.
6. Kedua orang tua Aris Nugroho dan Atik Khalwati yang senantiasa memberikan dukungan secara materi dan moral.
7. Barbie Nurdilia R. yang senantiasa memberikan semangat dan selalu mendengarkan keluh kesah selama penyusunan skripsi ini.
8. Rekan-rekan Teknik Lingkungan UI angkatan 2011, Departemen Teknik Sipil UI angkatan 2011, senior-senior dan adik-adik angkatan, dan geng Lingkungan: Gilang, Mitria, Diza, Rima, Dewi, Indah, Ayu Kusuma, dan lain-lain, yang memberikan semangat dan selalu menjadi kompetitor yang membangun.

Saya menyadari penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga skripsi ini memberikan kontribusi dan manfaat bagi banyak pihak yang membutuhkan.

Depok, Juni 2015  
Afrizal Citra Pradana



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Afrizal Citra Pradana  
NPM : 1106001611  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul:

**Pengaruh Aerasi Terhadap Penyisihan Konsentrasi Amonia Lindi pada  
Bioreaktor *Landfill***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media atau formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 22 Juni 2015

Yang menyatakan



(Afrizal Citra Pradana)

**STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT PUBLICATION  
FOR ACADEMIC PURPOSES**

---

As civitas academica of Universitas Indonesia, I, the undersigned:

Name : Afrizal Citra Pradana  
Student ID : 1106001611  
Study Program : Environmental Engineering  
Department : Civil Engineering  
Faculty : Engineering  
Type of Work : Final Report

for sake of science development, hereby agree to provide Universitas Indonesia **Non-exclusive Royalty Free Right** for scientific work entitled:

**The Effect of Aeration on Ammonia Removal in Bioreactor Landfill  
Leachate**

together with the entire documents (if necessary). With the Non-exclusive Royalty Free Right. Universitas Indonesia has rights to store, convert, manage in the form of database, keep and publish my final report as long as list my name as the author and copyright owner

I certify that above statement is true.

Signed at : Depok  
Date : June 22<sup>nd</sup>, 2015

The Declarer



(Afrizal Citra Pradana)

## ABSTRAK

Nama : Afrizal Citra Pradana  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Pengaruh Aerasi Terhadap  
Penyisihan Konsentrasi Amonia Lindi pada  
Bioreaktor *Landfill*

Bioreaktor *landfill* merupakan salah satu solusi alternatif yang dapat meningkatkan tingkat penyisihan amonia lindi dalam sistem pemrosesan akhir sampah. Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan dua bioreaktor *landfill* yang diisi dengan sampah domestik, bioreaktor pertama diberi perlakuan aerasi dan lainnya tanpa perlakuan aerasi. Dari penelitian yang dilakukan selama 150 hari, perlakuan aerasi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap stabilisasi sampah. Persentase penurunan volume sampah pada kedua bioreaktor *landfill* relatif tidak berbeda. Sebaliknya, aerasi memberikan pengaruh signifikan pada penyisihan amonia lindi. Rata-rata persentase penyisihan amonia lindi pada bioreaktor *landfill* yang diberi pengaruh aerasi sebesar 88,26%, sedangkan pada bioreaktor *landfill* yang tidak diberikan pengaruh aerasi sebesar 85,38%.

Kata kunci: aerasi; penyisihan amonia; bioreaktor *landfill*; lindi; sampah

## ABSTRACT

Name : Afrizal Citra Pradana  
Study Program : Environmental Engineering  
Thesis Title : The Effect of Aeration on Ammonia  
Removal in Bioreactor Landfill Leachate

Bioreactor landfill is one of alternative solution that can increase ammonia removal on leachate in municipal solid waste. In this study the experiment using two bioreactor landfills that filled with domestic refuse, first bioreactor landfill was aerated and the other unaerated. The 150 days research shows aeration configuration was not gave significant effect on refuse stabilization. Percentage of refuse reduction both relatively undifferent. Instead, aeration configuration was gave significant effect on ammonia removal. The average percentage of ammonia removal on aerated bioreactor landfill is 88.26%, while on unreated bioreactor landfill is 85.38%.

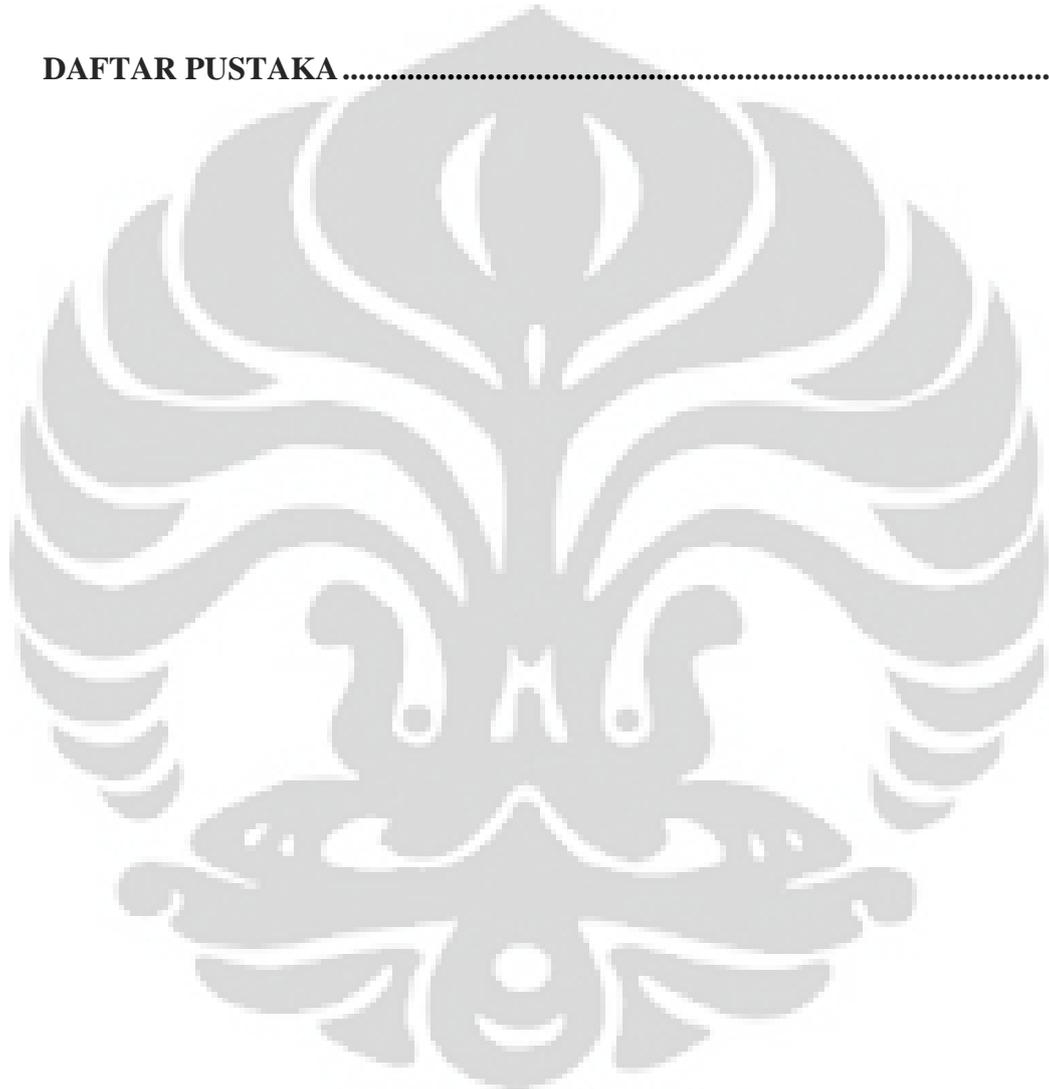
Keywords: aeration; ammonia removal; bioreactor landfill; leachate; refuse

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>STATEMENT OF AUTHENTICITY.....</b>	<b>iv</b>
<b>PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>STATEMENT OF LEGITIMATION.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....</b>	<b>ix</b>
<b>STATEMENT OF AGREEMENT FINAL REPORT PUBLICATION.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 <b>LATAR BELAKANG.....</b>	<b>1</b>
1.2 <b>PERUMUSAN MASALAH.....</b>	<b>3</b>
1.3 <b>TUJUAN PENELITIAN.....</b>	<b>4</b>
1.4 <b>MANFAAT PENELITIAN.....</b>	<b>4</b>
1.5 <b>BATASAN PENELITIAN.....</b>	<b>4</b>
1.6 <b>SISTEMATIKA PENULISAN.....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>7</b>
2.1 <b>LIMBAH PADAT.....</b>	<b>7</b>
2.1.1 <i>Pengertian Limbah Padat.....</i>	<i>7</i>
2.1.2 <i>Sumber Limbah Padat.....</i>	<i>8</i>
2.1.3 <i>Komposisi Limbah Padat.....</i>	<i>10</i>
2.2 <b>KARAKTERISTIK LIMBAH PADAT.....</b>	<b>13</b>
2.3 <b>PEMROSESAN AKHIR SAMPAH.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 <i>Landfill sebagai Pemrosesan Akhir Sampah.....</i>	<i>20</i>

2.3.2	<i>Sanitary landfill</i> .....	21
2.3.3	<i>Bioreaktor Landfill</i> .....	23
2.4	DEKOMPOSISI ORGANIK PADA SAMPAH .....	26
2.5	LINDI.....	28
2.5.1	<i>Pengertian Lindi</i> .....	28
2.5.2	<i>Komposisi Lindi</i> .....	29
2.5.3	<i>Resirkulasi Lindi</i> .....	31
2.5.4	<i>Transformasi dan Penyisihan Nitrogen pada Lindi</i> .....	32
2.6	STUDI TERDAHULU.....	36
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>42</b>
3.1	JENIS PENELITIAN.....	42
3.2	KERANGKA BERPIKIR.....	42
3.3	VARIABEL PENELITIAN.....	45
3.4	DATA PENELITIAN.....	45
3.5	INSTRUMEN PENELITIAN.....	49
3.5.1	<i>Desain Bioreaktor</i> .....	49
3.5.2	<i>Komponen Pengisi Bioreaktor</i> .....	52
3.5.3	<i>Pemadatan Sampah</i> .....	53
3.5.4	<i>Penambahan Air dan Resirkulasi Lindi</i> .....	54
3.5.5	<i>Laju Aerasi</i> .....	56
3.5.6	<i>Instrumen Pengujian Parameter Penelitian</i> .....	57
3.6	POPULASI PENELITIAN.....	58
3.7	ANALISIS DATA.....	59
3.7.1	<i>Distribusi t Independen</i> .....	59
3.7.2	<i>Efisiensi Penyisihan Amonia</i> .....	61
3.8	TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN .....	63
3.8.1	<i>Tempat Penelitian</i> .....	63
3.8.2	<i>Waktu Penelitian</i> .....	63
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>70</b>
4.1	PENGOPERASIAN BIOREAKTOR <i>LANDFILL</i> .....	70
4.2	KARAKTERISTIK LINDI .....	74
4.2.1	<i>COD</i> .....	74
4.2.2	<i>pH</i> .....	76
4.2.3	<i>Volume Lindi</i> .....	77
4.3	STABILISASI SAMPAH .....	78
4.3.1	<i>Penurunan Sampah</i> .....	78
4.3.2	<i>Temperatur Sampah</i> .....	81
4.4	PENGARUH AERASI & RESIRKULASI LINDI TERHADAP KONSENTRASI NITROGEN LINDI .....	82
4.4.1	<i>Transformasi Nitrogen pada Fase Pertama (hari ke-1 hingga ke-7)</i> . 83	

4.4.2	<i>Transformasi Nitrogen pada Fase Kedua (hari ke-7 hingga ke-35)..</i>	86
4.4.3	<i>Transformasi Nitrogen pada Fase Ketiga (hari ke-35 hingga ke-150)</i>	89
4.4.4	<i>Penyisihan Amonia pada Bioreaktor Landfill .....</i>	90
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>95</b>
5.1	KESIMPULAN .....	95
5.2	SARAN.....	96
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>97</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Sampah di Beberapa Kota di Indonesia.....	11
Tabel 2. 2 Berat Jenis Sampah Berdasarkan Komposisi.....	14
Tabel 2. 3 Kadar Air Sampah Berdasarkan Komposisi .....	15
Tabel 2. 4 Nilai <i>Ultimate Analysis</i> Sampah Berdasarkan Komposisi.....	18
Tabel 2. 5 Produk yang Dihasilkan dari Dekomposisi.....	28
Tabel 2. 6 Komposisi Lindi Muda dan Tua .....	31
Tabel 2. 7 Studi Terdahulu yang Berkaitan dengan Penelitian.....	36
Tabel 3. 1 Pembagian Waktu Penelitian .....	46
Tabel 3. 2 Data-data Primer Karakteristik Sampah .....	47
Tabel 3. 3 Data-data Primer Karakteristik Lindi.....	48
Tabel 3. 4 Detail Titik Lubang Pengambilan Sampel .....	50
Tabel 3. 5 Komponen Pengisi Bioreaktor .....	53
Tabel 3. 6 Data Curah Hujan di Stasiun Pengamatan Fakultas Teknik Universitas Indonesia .....	55
Tabel 3. 7 Alur Kegiatan Penelitian.....	64
Tabel 4. 1 Pemadatan Sampah .....	74
Tabel 4. 2 Karakteristik Awal Sampah .....	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Manajemen Pengelolaan Limbah Padat di Indonesia .....	20
Gambar 2. 2 Sanitary <i>Landfill</i> .....	22
Gambar 2. 3 Skema Bioreaktor <i>Landfill</i> Anaerobik .....	24
Gambar 2. 4 Skema Bioreaktor <i>Landfill</i> Aerobik .....	25
Gambar 2. 5 Skema Pembentukan Lindi.....	29
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Berpikir.....	44
Gambar 3. 2 Rancangan Bioreaktor <i>Landfill</i> .....	51
Gambar 3. 3 Bioreaktor <i>Landfill</i> yang Digunakan pada Penelitian .....	52
Gambar 3. 4 Instrumen Pengujian Parameter .....	58
Gambar 4. 1 Sampel Sampah UPS Lenteng Agung.....	70
Gambar 4. 2 Proses Pencacahan Sampah.....	71
Gambar 4. 3 Proses Pengisian Sampah ke Bioreaktor <i>Landfill</i> .....	72
Gambar 4. 4 Pemadatan dengan Pembebanan pada Tanah Penutup.....	73
Gambar 4. 5 Konsentrasi COD .....	75
Gambar 4. 6 Nilai pH.....	76
Gambar 4. 7 Kumulasi Volume Lindi.....	78
Gambar 4. 8 Persentase Penurunan Sampah .....	79
Gambar 4. 9 Temperatur Sampah .....	81
Gambar 4. 10 Fase Transformasi Nitrogen dalam Penelitian .....	83
Gambar 4. 11 Konsentrasi Amonia, Nitrit, dan Nitrat .....	84
Gambar 4. 12 Konsentrasi DO .....	85
Gambar 4. 13 Perubahan Konsentrasi Amonia.....	91
Gambar 4. 14 Persentase Penyisihan Amonia.....	92
Gambar 4. 15 Rentang Persentase Penyisihan Amonia .....	93

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Penurunan Volume Sampah.....	101
Lampiran 2. Data Konsentrasi COD Lindi .....	104
Lampiran 3. Data Nilai pH Lindi .....	105
Lampiran 4. Data Konsentrasi DO Lindi .....	108
Lampiran 5. Data Volume Lindi .....	109
Lampiran 6. Data Kadar Air Sampah.....	112
Lampiran 7. Data C:N Sampah .....	114
Lampiran 8. Data Konsentrasi Amonia Lindi .....	115
Lampiran 9. Data Konsentrasi Nitrit Lindi .....	116
Lampiran 10. Data Konsentrasi Nitrat Lindi .....	117
Lampiran 11. Uji $t$ Independen Penurunan Volume Sampah .....	118
Lampiran 12. Uji $t$ Independen Penyisihan Amonia.....	122



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengelolaan limbah padat merupakan salah satu permasalahan yang kompleks yang dihadapi masyarakat dewasa ini. Jumlah penduduk global tercatat saat ini mencapai 7 miliar jiwa (Cunningham, 2008). Hal ini tentunya mempengaruhi peningkatan volume sampah yang dihasilkan pada suatu wilayah yang dapat menimbulkan banyak permasalahan menyangkut aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan.

Aspek teknis merupakan salah satu aspek penting dalam manajemen pengelolaan limbah padat. Aspek ini menyangkut teknik operasional pengelolaan sampah yang meliputi dasar kegiatan dari pengumpulan di tingkat rumah tangga hingga pembuangan dimana sekarang biasa disebut dengan pemrosesan akhir sampah terpadu (Damanhuri *et.al.*, 2010). Pemrosesan akhir sampah yang merupakan hilir dari aspek teknis manajemen pengelolaan limbah padat merupakan titik akhir dari alur pengolahan sampah sehingga penting untuk dilakukan perencanaan yang baik.

Dewasa ini sistem pengelolaan akhir di beberapa daerah di Indonesia masih mengandalkan sistem *open dumping*. Sistem ini memiliki banyak kekurangan yang berkaitan dengan kesehatan dan lingkungan. Penggunaan sistem *open dumping* mengakibatkan berkembangnya serangga dan hewan pengerat yang bersifat patogen, pencemar udara diemisikan secara bebas, serta mempengaruhi kualitas air tanah di area tempat pengolahan akhir. Sehingga jenis pengolahan yang 50,8% masih diterapkan di Asia ini tidak direkomendasikan untuk diterapkan (*Global Development Research Center*, 2003).

Pengolahan limbah padat perkotaan menggunakan sistem *sanitary landfill* merupakan metode yang biasa diterapkan di berbagai negara (Long *et.al.*, 2007; Tatsi dan Zoubolis, 2002). Namun sistem pengolahan limbah padat *sanitary landfill* itu sendiri tentunya juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Ditinjau dari sisi kekurangan sistem *sanitary landfill*, sistem pengolahan jenis ini menghasilkan beberapa jenis sumber pencemar. Jenis pencemar yang dihasilkan yaitu bau, emisi

gas yang dapat dikategorikan sebagai gas rumah kaca, serta keberadaan lindi. Keseluruhan jenis pencemar tersebut dapat mempengaruhi kualitas air permukaan, kualitas air tanah, kualitas udara, serta flora dan fauna disekitar area *sanitary landfill* (US. *Environmental Protection Agency*, 2014). Pada perkembangannya, emisi gas yang dihasilkan dari *sanitary landfill* seperti gas metana dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif. Namun permasalahan lainnya adalah lindi yang dihasilkan dari *sanitary landfill*. Pada umumnya lindi yang dihasilkan dalam *sanitary landfill* diolah pada instalasai pengolahan air sampah (IPAS) namun pada implementasinya belum dapat diolah secara tepat dan belum memiliki nilai keuntungan apabila diaplikasikan untuk desain.

Pengolahan limbah padat dengan bioreaktor *landfill* merupakan perkembangan dari *sanitary landfill* konvensional. Pada bioreaktor *landfill* dilakukan penyesuaian kadar air dengan resirkulasi lindi dan penambahan udara untuk mempercepat biodegradasi (Berge, *et.al.*, 2006). Keuntungan pada sistem pengolahan limbah padat jenis ini adalah instalasi pengolahan air sampah (IPAS) untuk mengolah lindi tidak diperlukan karena lindi yang dihasilkan akan diresirkulasikan (Sponza *et.al.*, 2003).

Terdapat beberapa jenis bioreaktor *landfill*, diantaranya adalah bioreaktor *landfill* aerobik, bioreaktor *landfill* anaerobik, bioreaktor *landfill* hibrid, dan bioreaktor *landfill* fakultatif (Berge, 2006) didasari dengan perbedaan perlakuan aerasi ditambahkan pada bioreaktor tersebut. Kedua jenis bioreaktor tersebut memiliki keunggulan dan kelebihan. Pada bioreaktor aerobik kadar air yang dihasilkan lebih sedikit berdampak pada produksi lindi, kemampuan degradasi lebih besar, namun gas metana yang dihasilkan sedikit bahkan tidak ada. Sedangkan pada bioreaktor anaerobik kadar air yang dihasilkan lebih banyak, kemampuan degradasi lebih kecil, namun menghasilkan gas emisi metana yang besar dan dapat digunakan sebagai energi alternatif (Sun *et.al.*, 2014).

Konsentrasi amonia yang tinggi dalam bioreaktor *landfill* merupakan salah satu masalah karena sulit diolah dan berpengaruh pada pembentukan pencemar lain seperti nitrit, nitrat, gas N<sub>2</sub>, dan beberapa gas oksida nitrogen (Berge, 2006). Beberapa dari senyawa tersebut bersifat toksik dan mempengaruhi kualitas badan air atau air tanah. Bioreaktor *landfill* merupakan sebagai salah

salah satu solusi alternatif mengatasi masalah pengolahan amonia lindi pada sistem pemrosesan akhir sampah. Pada bioreaktor *landfill* aerobik untuk kasus sampel sampah dengan komposisi sampah anorganik lebih besar, terjadi penyisihan amonia seiring dengan bertambahnya umur sampah. Sedangkan pada bioreaktor *landfill* anaerobik, konsentrasi amonia semakin bertambah seiring dengan bertambahnya umur sampah (Borglin *et.al.*, 2004). Belum dilaksanakan penelitian pengaruh aerasi terhadap penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill* untuk kasus sampel sampah rumah tangga di Indonesia dimana komposisi sampah organik lebih besar daripada komposisi sampah anorganik. Maka dari itu pada penelitian ini akan dilakukan pengujian parameter amonia pada lindi pada bioreaktor *landfill*, untuk mengetahui tingkat penyisihan amonia dengan perlakuan aerasi dan tanpa perlakuan aerasi pada kasus sampah rumah tangga/domestik yang memiliki komposisi sampah organik lebih besar.

## 1.2 Perumusan Masalah

Amonia sebagai salah satu senyawa yang bersifat toksik bagi lingkungan merupakan salah satu aspek yang perlu ditinjau dalam perancangan bioreaktor *landfill*. Kondisi aerasi merupakan variabel penanda apakah reaksi yang berlangsung pada bioreaktor bersifat aerobik atau anaerobik. Kedua aspek tersebut dapat memberikan gambaran pengaruh keberadaan oksigen terhadap penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill*. Pada penelitian ini digunakan dua reaktor identik dengan perlakuan yang berbeda, pada reaktor pertama diberi perlakuan resirkulasi lindi dan aerasi, sedangkan yang kedua hanya dilakukan perlakuan resirkulasi lindi. Kemudian akan ditinjau penyisihan amonia masing-masing reaktor. Sehingga masalah yang dapat dikaji pada penelitian kali ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh aerasi terhadap stabilisasi sampah?
2. Bagaimana pengaruh aerasi terhadap proses transformasi nitrogen dalam bioreaktor *landfill*?
3. Bagaimana pengaruh aerasi terhadap penyisihan amonia pada lindi?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh aerasi terhadap stabilisasi sampah pada bioreaktor *landfill* melalui pengukuran penurunan volume sampah.
2. Menganalisis pengaruh aerasi terhadap proses transformasi nitrogen dalam bioreaktor *landfill*.
3. Menganalisis pengaruh aerasi terhadap penyisihan amonia pada lindi.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan penjelasan mengenai pengaruh perlakuan aerasi terhadap stabilisasi sampah yang terdapat pada bioreaktor *landfill*.
2. Memberikan penjelasan transformasi nitrogen yang terjadi di bioreaktor *landfill*.
3. Memberikan penjelasan mengenai pengaruh perlakuan aerasi terhadap penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill*.
4. Referensi penelitian berikutnya yang berkaitan dengan penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill*.

### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang dilakukan adalah:

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Sampah yang digunakan sebagai sampel adalah sampah rumah tangga yang berasal dari Tempat Pengolahan Sampah (TPS) Lenteng Agung, Kecamatan Jagakarsa, Jakarta Selatan.
3. Sampel sampah yang digunakan sebelumnya dilakukan proses pencacahan. Ukuran sampah setelah dicacah  $\pm 5$  cm.
4. Metode pengisian sampah ke dalam bioreaktor dilakukan secara *batch*.
5. Pengujian parameter difokuskan pada konsentrasi amonia, nitrit, nitrat, DO, COD, rasio C:N, penurunan volume sampah, volume lindi yang terbentuk, temperatur sampah, kadar air sampah, dan pH lindi.

6. Penentuan laju aerasi akan bergantung terhadap volume sampah yang dimasukkan kedalam reaktor.
7. Penelitian akan dilakukan dalam waktu 150 hari

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bagian ini dijelaskan latar belakang masalah, mulai dari permasalahan pengolahan sampah domestik hingga sistem bioreaktor *landfill* sebagai alternatif pengolahan dan aspek penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill* sebagai bahan yang diangkat pada tugas akhir ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan-batasan penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

### BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

Pada bagian ini dijelaskan teori dasar dalam penyusunan tugas akhir yang dapat digunakan sebagai pendukung bagian analisis hasil dan pembahasan. Teori yang akan dijelaskan pada kajian pustaka diantaranya pengertian, sumber, komposisi, dan karakteristik limbah padat, perkembangan sistem *landfill* sebagai pemrosesan akhir sampah, dekomposisi organik pada sampah, pengertian lindi, komposisi lindi, dan transformasi amonia pada lindi.

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai kerangka berpikir, variabel penelitian, populasi penelitian, instrumen penelitian, lokasi dan waktu penelitian, serta metode pengolahan data.

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai pengoperasian bioreaktor *landfill*, karakteristik lindi, stabilisasi sampah, dan penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill*.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini diuraikan kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian tugas akhir, bagian kajian pustaka, serta bagian hasil dan pembahasan. Pada bagian ini diberikan saran yang bersifat subjektif oleh penulis yang berkaitan tentang penelitian.



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Limbah Padat**

##### **2.1.1 Pengertian Limbah Padat**

Peraturan perundang-undangan di Indonesia telah menjelaskan pengertian limbah padat. Menurut Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup limbah secara umum didefinisikan sebagai sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Kemudian pada bagian penjelasan Pasal 1 Ayat (14) peraturan perundang-undangan tersebut dijelaskan bahwa limbah yang merupakan sisa yang dihasilkan dari suatu usaha dan/atau produk yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan hidup apabila tidak dilakukan penanganan dan pengelolaan limbah. Pencemaran lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang ditetapkan.

Dalam perkembangan sebelumnya definisi limbah padat juga dijelaskan pada Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. Pada peraturan perundang-undangan ini limbah padat/sampah didefinisikan sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Ruang lingkup limbah padat menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 dibedakan menjadi:

- a. Sampah rumah tangga
- b. Sampah sejenis sampah rumah tangga
- c. Sampah spesifik

Sampah rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik. Sedangkan sampah sejenis sampah rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kawasan komersil, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya, dan sampah spesifik, menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 sampah spesifik meliputi:

- Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun

- Sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun
- Sampah yang timbul akibat bencana
- Puing bongkaran bangunan
- Sampah yang secara teknologi belum dapat diolah
- Sampah yang timbul secara tidak periodik

Limbah padat menurut Tchobanoglous *et.al.*, (1993) didefinisikan sebagai massa zat yang bersifat heterogen yang tidak dibutuhkan oleh masyarakat dan juga yang berasal dari sektor agrikultur, industri, dan pertambangan.

Dari pengertian-pengertian diatas dapat disimpulkan definisi limbah padat adalah residu dari sisa usaha/kegiatan sehari-hari yang berbentuk padat yang bersifat heterogen ditinjau dari sumber, komposisi, dan karakteristiknya yang tidak bisa dimanfaatkan kembali. Hal ini dikarenakan nilai ekonomis dari sisa usaha/kegiatan tersebut sudah tidak ada menurut subjek yang menghasilkan residu tersebut.

### 2.1.2 Sumber Limbah Padat

Sumber timbulan limbah padat yang umumnya digunakan di Indonesia menurut SNI 19-3964-1994 tentang Spesifikasi Timbulan Sampah untuk Kota Kecil dan Sedang adalah:

- a. Sampah dari pemukiman atau rumah tangga  
Limbah padat pemukiman berasal kegiatan rumah tangga seperti rumah, apartemen, dan sebagainya.
- b. Sampah dari non-pemukiman  
Limbah padat non-pemukiman berasal dari kegiatan komersil seperti kantor, toko, ruko, pasar, sekolah, tempat ibadah, dan sebagainya.

Menurut Tchobanoglous *et.al.*, (1993), penggolongan limbah padat menurut sumber penghasilnya dibedakan menjadi:

- a. Pemukiman/residensial  
Limbah padat pemukiman meliputi limbah padat yang dihasilkan rumah atau apartemen. Jenis limbah padat yang ditimbulkan antara lain sisa

makanan, kertas, kardus, plastik, tekstil, sampah kebun, kayu, kaca, logam, barang bekas rumah tangga (furnitur, elektronik), bahan berbahaya dan beracun (B3), dan lain-lain. Jenis limbah padat yang dominan pada sektor pemukiman adalah sampah organik.

b. Komersil

Limbah padat komersil meliputi limbah padat yang dihasilkan oleh pertokoan, rumah makan, pasar, perkantoran, hotel, dan lain-lain. Jenis limbah padat yang umumnya ditemukan pada sumber komersil antara lain kertas, kardus, plastik, kayu, sisa makanan, kaca, logam, bahan berbahaya dan beracun (B3), dan lain-lain. Jenis limbah padat yang dominan pada sektor komersil hampir serupa dengan sektor pemukiman, namun jumlah limbah padat organik yang dihasilkan pada sektor ini tidak sebesar sektor pemukiman.

c. Institusi

Limbah padat institusi meliputi limbah padat yang dihasilkan oleh sekolah, rumah sakit, pusat pemerintahan, dan lain-lain. Jenis limbah padat yang umumnya ditemukan pada sumber institusi antara lain kertas, kardus, plastik, kayu, sisa makanan, kaca, logam, bahan berbahaya dan beracun (B3), dan lain-lain. Jenis limbah padat yang dominan pada sektor institusi hampir serupa dengan sektor komersil.

d. Konstruksi

Limbah padat konstruksi meliputi limbah padat yang dihasilkan oleh kegiatan konstruksi bangunan, perbaikan jalan, demolisi/penghancuran properti bangunan, dan lain-lain. Jenis limbah padat yang ditimbulkan antara lain kayu, baja, beton, dan lain-lain.

e. Fasilitas umum

Limbah padat fasilitas umum meliputi limbah padat yang dihasilkan oleh jalan, taman, pantai, tempat rekreasi, dan lain-lain. Jenis limbah padat yang

ditimbulkan antara lain limbah padat taman, ranting, daun yang berguguran, sisa makanan, plastik, dan sebagainya.

f. Tempat pengolahan limbah

Limbah padat tempat pengolahan meliputi limbah padat yang dihasilkan oleh instalasi pengolahan air minum, instalasi pengolahan air limbah, dan insinerator. Jenis limbah padat yang ditimbulkan antara lain lumpur hasil pengolahan, abu hasil pembakaran, dan sebagainya.

g. Industri

Limbah padat industri meliputi limbah padat yang dihasilkan oleh kegiatan pabrik, konstruksi, industri manufaktur baik ringan maupun berat, pengolahan bahan kimia, pengolahan minyak dan gas, dan lain-lain. Jenis limbah padat yang ditimbulkan antara lain sisa makanan, kertas, kardus, plastik, tekstil, logam, limbah padat khusus, limbah padat bahan berbahaya dan beracun (B3), dan lain-lain.

h. Pertanian

Jenis limbah padat yang dihasilkan antara lain sisa hasil pertanian yang telah busuk, sisa pertanian limbah padat bahan berbahaya dan beracun (B3), dan lain-lain. Bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dihasilkan dari sektor ini berasal dari sisa pestisida dan insektisida.

### 2.1.3 Komposisi Limbah Padat

Komposisi limbah padat adalah jumlah sampah yang diklasifikasikan dalam distribusi yang memiliki hubungan, komposisi sampah biasanya dinyatakan dalam satuan persentase berat (%berat) (Tchobanoglous *et.al.*, 1993).

Komposisi limbah padat diperlukan untuk mengetahui proses dekomposisi dan besar lindi yang diproduksi. Komposisi limbah padat memiliki kecenderungan dipengaruhi oleh musim yang terjadi di suatu wilayah, hal ini menggambarkan keanekaragaman aktivitas manusia (McBean *et.al.*, 1996). Komposisi sampah domestik tidak berbeda jauh dengan komposisi sampah

komersil di beberapa komponen limbah padat. Komposisi sampah di beberapa kota di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.1. Secara garis besar, komposisi limbah padat dikategorikan menjadi (Damanhuri *et.al.*, 2010):

a. Limbah padat organik

Limbah padat organik adalah limbah padat yang memiliki susunan unsur-unsur karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen. Limbah padat organik pada umumnya bersifat dapat didegradasi secara alami sehingga mudah terdekomposisi. Contoh dari limbah padat organik adalah daun-daunan, kayu, kertas, sisa makanan, sayur dan buah.

b. Limbah padat anorganik

Limbah padat anorganik yaitu limbah padat yang tidak tersusun oleh senyawa organik dan tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme atau sulit terdekomposisi. Contoh dari limbah padat anorganik adalah kaleng, plastik, logam, kaca, dll.

Tabel 2. 1 Komposisi Sampah di Beberapa Kota di Indonesia

Komponen	Jakarta (%)	Bandung (%)
Organik	74	73,4
Kertas	8	9,7
Logam	2	0,5
Kaca	2	0,4
Tekstil	-	1,3
Plastik/Karet	6	8,6
Lain-lain	8	6,1

Sumber: Damanhuri *et.al.* (2010)

Komposisi sampah dipengaruhi faktor-faktor sebagai berikut (Damanhuri *et.al.*, 2010):

a. Cuaca

Cuaca mempengaruhi komposisi zat cair pada sampah. Daerah yang memiliki curah hujan tinggi, kelembaban sampah juga akan cukup tinggi. Daerah yang memiliki kelembaban udara yang tinggi, kelembaban sampah juga akan cukup tinggi.

b. Frekuensi pengumpulan

Semakin sering sampah dikumpulkan maka semakin tinggi tumpukan sampah terbentuk. Tetapi sampah organik akan berkurang karena membusuk, dan yang akan terus bertambah adalah kertas dan dan sampah kering lainnya yang sulit terdekomposisi.

c. Musim panen

Musim panen mempengaruhi peningkatan komposisi sampah organik pada suatu daerah. Pada saat musim panen buah-buahan yang sedang berlangsung, maka komposisi sampah organik akan mengalami peningkatan.

d. Tingkat sosial ekonomi

Tingkat sosial dan ekonomi mempengaruhi jenis komposisi sampah yang dihasilkan. Daerah dengan tingkat ekonomi tinggi pada umumnya menghasilkan sampah yang terdiri atas bahan kaleng, kertas, dan sebagainya.

e. Pendapatan

Pendapatan per-kapita mempengaruhi komposisi timbulan sampah yang dihasilkan, masyarakat dari tingkat ekonomi rendah akan menghasilkan total sampah yang lebih sedikit dan homogen dibanding tingkat ekonomi lebih tinggi.

f. Kemasan produk

Kemasan produk bahan kebutuhan sehari-hari juga akan mempengaruhi komposisi sampah yang dihasilkan. Negara maju cenderung tambah banyak yang menggunakan kertas sebagai pengemas, sedangkan negara berkembang seperti Indonesia banyak menggunakan plastik sebagai pengemas.

## 2.2 Karakteristik Limbah Padat

Karakteristik limbah padat adalah properti limbah padat yang meliputi sifat fisik, kimia, dan biologi. Karakteristik limbah padat diperlukan untuk mengetahui transformasi limbah padat yang akan diolah. Transformasi limbah padat juga digunakan sebagai dasar penentuan desain pemrosesan akhir sampah dalam manajemen sistem pengelolaan sampah terpadu. Pengujian karakteristik limbah padat sangat penting dalam pengembangan dan desain, berikut adalah pembagian karakteristik sampah (Tchobanoglous *et.al.*, 1993)

a. Karakteristik Fisik Sampah Domestik

Karakteristik fisik sampah domestik diperlukan untuk menganalisis sampah dan mengetahui jenis pengolahan yang diperlukan. Berikut adalah karakteristik fisik sampah domestik (Tchobanoglous *et.al.*, 1993):

- Berat jenis

Berat jenis didefinisikan berat material volume ( $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{lb/ft}^3$ , atau  $\text{lb/yd}^3$ ). Berat jenis biasa disebut dengan densitas. Berat jenis sampah biasa disebut dengan sampah yang tidak dikenakan perlakuan, per kontainer, mengalami kompaksi, dan non kompaksi.

Berat jenis sampah dipengaruhi oleh lokasi geografis, musim, dan lama penyimpanannya. Pada limbah padat yang dikompaksi, umumnya memiliki rentang berat jenis yang berkisar antara  $180 \text{ kg/m}^3$  hingga  $420 \text{ kg/m}^3$  atau nilai tipikal sebesar  $300 \text{ kg/m}^3$ . Berat jenis dari setiap komposisi sampah dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Berat Jenis Sampah Berdasarkan Komposisi

Jenis Sampah	Berat Jenis	
	kg/m <sup>3</sup>	
	Rentang	Terkompaksi
Sisa makanan	343-514	1.029
Kertas	76-152	228
Plastik	39-72	156
Karet dan Tekstil	91-100	240
Sampah pekarangan	91-227	445
Kayu	160-170	400
Kaca	441	441
Logam	120	120

Sumber: Australian Environment Protection Authority (2008)

- Kadar Air

Menentukan kadar air dalam sampah biasanya dapat digunakan dua cara yaitu dengan ukuran berat basah dan berat kering. Pada metode pengukuran berat basah, sampel didefinisikan sebagai persentase berat basah dari material. Sedangkan pada metode pengukuran berat kering, sampel didefinisikan sebagai persentase berat kering dari material. Ukuran kelembapan yang umum digunakan dalam desain adalah % berat basah (*wet weight*). Kadar air sampah berdasarkan komposisi dapat dilihat pada Tabel 2.3. Persamaan berat basah sampah adalah sebagai berikut:

$$M = \left( \frac{w - d}{w} \right) \times 100$$

Dimana:

M : nilai kelembapan (%)

w : berat awal sampah (kg)

d : berat setelah proses pengeringan pada suhu 105°C (kg)

Tabel 2. 3 Kadar Air Sampah Berdasarkan Komposisi

Jenis Sampah	Kadar Air
	% berat
	Tipikal
Sisa makanan	60
Kertas	10
Plastik	0
Tekstil	20
Karet dan Kulit	16
Sampah pekarangan	60
Kayu	15
Kaca	0
Logam	0

Sumber: IPCC (2006)

- Ukuran dan distribusi partikel

Penentuan ukuran dan distribusi partikel sampah digunakan untuk menentukan jenis fasilitas mekanik pengolahan sampah, khususnya sebagai pertimbangan penggunaan *screen* atau *magnetic separator*. Berdasarkan pengukuran dimensi yang dilakukan di beberapa tempat ukuran dimensi sampah yang rata-rata ditemukan dalam sampah kota berkisar antara 18 cm hingga 20 cm. Namun khusus untuk kaleng, aluminium, dan kaca ukuran dan distribusi partikel bermacam-macam.

- *Field capacity*

*Field capacity* adalah jumlah kadar air yang dapat tertahan dalam sampah akibat gaya gravitasi. *Field capacity* sangat penting dalam menentukan pembentukan lindi dalam *landfill*. *Field capacity* dipengaruhi oleh tekanan dan proses dekomposisi sampah.

Pada beberapa kasus *field capacity* adalah sebesar 30% dari volume sampah total. Semakin tinggi nilai *field capacity* suatu sampah, maka

jumlah timbunan lindungnya akan menjadi kecil dan sebaliknya apabila nilai *field capacity* sampah kecil, maka timbunan lindi akan semakin besar.

- Permeabilitas sampah

Permeabilitas sampah (untuk kondisi sampah yang telah dipadatkan) diperlukan untuk mengetahui gerakan cairan dan gas dalam *landfill*. Koefisien permeabilitas sampah dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$K = C d^2 \frac{\gamma}{\mu}$$

Dimana:

K : koefisien permeabilitas

C : konstanta bentuk sampah

d : ukuran rata-rata pori

$\gamma$  : berat jenis air

$\mu$  : nilai viskositas dinamik dari air

$Cd^2$  merupakan permeabilitas spesifik. Permeabilitas spesifik dari sampah yang telah dikompaksi berkisar antara  $10^{-11} \text{ m}^2$  hingga  $10^{-12} \text{ m}^2$  pada arah vertikal dan  $10^{-10} \text{ m}^2$  pada arah horizontal.

b. Karakteristik Kimiawi Sampah Domestik

Karakteristik kimiawi sampah diperlukan untuk mengevaluasi alternatif suatu proses dan sistem pengolahan sampah. Sebagai contohnya kemungkinan penggunaan insinerator pada pemrosesan sampah akhir. Maupun kombinasi serta pertimbangan lainnya. Berikut adalah karakteristik kimiawi sampah domestik (Tchobanoglous *et.al.*, 1993):

- *Proximate Analysis*

Parameter yang diukur umumnya adalah :

- Kadar air (kadar air berkurang pada suhu  $105^\circ\text{C}$ ,  $t = 1$  jam)

- *Volatile combustible matter* (berat sampah yang berkurang pada pemanasan 550°C)
- *Fixed carbon* (sisa material setelah VCM hilang atau dibakar sempurna pada suhu 950°C )
- *Ash* (residu setelah proses pembakaran)

- Titik Lebur Abu

Titik lebur abu merupakan titik temperatur saat menghasilkan abu pada proses pembakaran dimana ada suhu tersebut akan terbentuk padatan melalui proses aglomerasi. Titik lebur abu berkisar antara 1.100°C hingga 1.200°C.

- *Ultimate Analysis*

*Ultimate Analysis* merupakan penentuan unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), dan abu. Dari pengujian *ultimate analysis* dapat diketahui nilai parameter C dan N yang dapat menentukan rasio C:N sampah. Rasio C:N ini merupakan rasio yang menunjukkan kandungan nitrogen pada akhir proses dekomposisi yang terjadi (Tchobanoglous *et.al.*, 1993). Nilai ultimate analysis pada masing-masing komponen sampah dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Nilai *Ultimate Analysis* Sampah Berdasarkan Komposisi

Jenis Sampah	Ultimate Analysis					
	% berat					
	Karbon	Oksigen	Nitrogen	Hidrogen	Sulfur	Abu
Sisa makanan	48	37,6	2,6	6,4	0,4	5
Kertas	43,5	44	0,3	6	0,2	6
Plastik	60	22,8	-	7,2	-	10
Tekstil	55	31,2	4,6	6,66	0,15	3,2
Karet	78	-	2	10	-	20
Sampah pekarangan	47,8	38	3,4	6	0,3	6,3
Kayu	49,5	42,7	0,2	6	< 0,1	1,5
Kaca	0,5	0,4	<0,1	0,1	-	98,9
Logam	4,5	4,3	<0,1	0,6	-	90,5

Sumber: Tchobanoglous *et.al.* (1993)

- Kandungan energi

Kandungan energi yang terdapat di dalam sampah dapat dihitung dengan metode kalorimeter, *bomb calorimeter*, dan dengan perhitungan jika beberapa parameter diketahui. Satuan yang biasa digunakan adalah Btu/lb.

- Nutrien Penting dan Elemen Lainnya

Perhitungan nutrien-nutrien penting bagi pertumbuhan mikroorganisme merupakan salah satu karakteristik sampah yang perlu diketahui. Dengan mengetahui jumlah nutrien-nutrien penting maka dapat diketahui jumlah kompos, gas metana, dan etanol yang diproduksi oleh pemrosesan akhir sampah.

c. Karakteristik Biologi

Penentuan karakteristik biologi digunakan untuk menentukan karakteristik sampah organik di luar plastik, karet dan kulit. Parameter-parameter yang

umumnya dianalisis untuk menentukan karakteristik biologi sampah organik terdiri atas (Tchobanoglous *et.al.*, 1993):

- Zat yang dapat terlarut dalam air terdiri dari glukosa, zat tepung, asam amino, dan beberapa jenis asam organik lainnya
- Hemiselulosa yaitu hasil kondensasi rantai produk glukosa dan karbon
- Selulosa yaitu hasil kondensasi rantai produk glukosa dan karbon;
- Lemak, minyak, rantai asam lemak panjang
- Lignin yaitu senyawa polimer dengan cincin aromatik;
- Lignoselulosa merupakan kombinasi lignin dengan selulosa
- Protein terdiri atas rantai asam amino

- Biodegradasi sampah organik

Sebagian komposisi sampah organik memiliki kecenderungan dapat terdegradasi kecuali beberapa komponen sampah yang memiliki kandungan lignin yang cukup besar. Sampah dengan kandungan lignin yang besar seperti kertas lebih sulit didegradasikan oleh mikroorganisme ketimbang sampah organik lainnya.

- Menghasilkan bau

Konsentrasi hidrogen sulfida dan *volatile organic acid* bertambah pada sampah organik sehingga menimbulkan permasalahan bau.

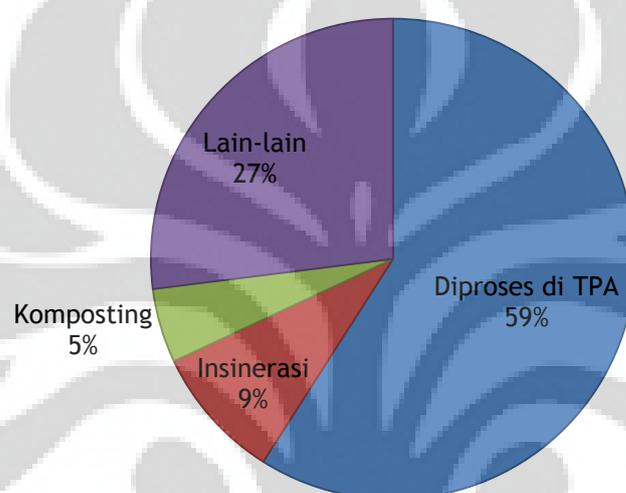
- Permasalahan lalat

Permasalahan lalat disebabkan oleh kondisi lingkungan cuaca. Pada musim panas lalat yang ada pada sampah akan bertelur dan menghasilkan belatung. Dalam waktu dua hari belatung akan tumbuh menjadi lalat dewasa. Permasalahan lalat erat kaitannya dengan kesehatan dan keindahan lingkungan.

## 2.3 Pemrosesan Akhir Sampah

### 2.3.1 *Landfill* sebagai Pemrosesan Akhir Sampah

Pemrosesan akhir sampah merupakan tahap akhir penanganan sampah dalam kerangka pengelolaan sampah perkotaan menurut Undang-Undang No.18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. Pengertian pemrosesan sampah menurut Damanhuri *et.al.*, (2010) adalah pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman. Persentase pemrosesan akhir sampah yang diterapkan di Indonesia dapat dilihat di Grafik 2.1.



Gambar 2. 1 Manajemen Pengelolaan Limbah Padat di Indonesia

Sumber: IPCC (2006)

Pemrosesan akhir sampah yang umumnya digunakan adalah penyingkiran sampah ke dalam tanah (*land disposal*). Cara pengurugan atau penimbunan ini dikenal sebagai *landfilling*.

Pengurugan atau penimbunan sampah pertama kali dicetuskan pada awal tahun 1932 di Manchester, Inggris oleh Direktur Dinas Kebersihan Publik Kota Manchester, Frederick Owen. Metode ini dinilai sebagai salah satu metode yang aman dan terkontrol dalam mengelola sampah perkotaan. Kelebihan metode pengurugan diantaranya mengurangi bau, mengurangi perkembangan cacing sebagai salah satu hewan patogen, dan mengurangi dampak negatif sampah bagi kesehatan (McBean *et.al.*,1995).

Dimulai pada tahun 1950-an beberapa *control landfill* telah didesain dan didirikan dengan sedikit penerapan keteknikan di beberapa negara di Eropa maupun Amerika. Beberapa diantaranya dibuat dengan sistem tertutup dengan gundukan tanah, penanaman vegetasi yang bertujuan untuk mengurangi dampak bau, dan sebagainya.

### 2.3.2 Sanitary landfill

*Sanitary landfill* adalah fasilitas yang digunakan sebagai pemrosesan akhir sampah yang berupa penimbunan sampah ke dalam tanah. *Sanitary landfill* didesain untuk mengurangi dampak negatif sampah bagi kesehatan dan lingkungan. Pengertian *landfill* terbatas berdasarkan komposisi sampah yang diproses, untuk jenis sampah bahan berbahaya dan beracun (B3) pemrosesan akhir sampah dengan cara pengurugan sampah ke dalam tanah biasa disebut dengan sistem *secure landfill* (Tchobanoglous *et.al.*, 1993).

*Sanitary landfill* termasuk dalam unit pengolahan limbah padat. Manajemen pengeoperasian *sanitary landfill* termasuk pengawasan sampah yang masuk dalam *landfill*, penempatan dan kompaksi sampah, serta pengendalian dan pengawasan *landfill*.

Beberapa parameter desain yang diperlukan dalam mendesain *sanitary landfill* menurut Tchobanoglous *et.al.*, (1993) adalah:

a. Sel

Sel adalah volume material yang diolah dalam *landfill* selama satu periode operasi, biasanya setiap satu hari.

b. Penutup

Penutup (*cover*) adalah lapisan tanah atau kompos yang digunakan untuk menutup sel untuk setiap satu periode operasi, penutup biasanya memiliki ketebalan 10 cm hingga 30 cm, maksimal sampah yang ditampung dalam periode 48 jam (Damanhuri *et.al.*, 2010).

c. Lapisan

Lapisan adalah kumpulan suatu sel pada elevasi yang sama. Setiap lapisan rata-rata memiliki ketinggian 1,2 m hingga 1,5 m (Damanhuri *et.al.*, 2010).

d. Lapisan atas

Lapisan atas adalah lapisan terakhir dari *landfill* atau lapisan yang memiliki elevasi paling tinggi. Pada lapisan atas akan diberikan penutup akhir yang biasanya berupa beberapa penutup tanah yang dibuat berlapis-lapis atau dengan material *geotextile*. Penutup atas didesain agar dapat mengalirkan air di permukaan *landfill*, dapat meneruskan air dari permukaan ke lapisan dalam (perkolasi), serta dapat digunakan sebagai media vegetasi yang ditanam di atasnya. Sanitary *landfill* beserta keterangannya dapat dilihat di Gambar 2.1.



Gambar 2. 2 Sanitary *Landfill*

Pengumpul gas dan pembangkit listrik tenaga metana (kiri), penutup landfill dan pipa resirkulasi lindi dan penambahan air (kanan)

Sumber: <http://www.tampabay.com> (2009)

e. Fasilitas pemantau *landfill*

Fasilitas pemantau *landfill* termasuk *landfill liners*, sistem pengumpul lindi, sistem pengumpul gas *landfill*, serta penutup (*cover*). *Landfill liners* adalah pembatas antara sel dengan tanah tempat *landfill* didirikan. *Landfill liners* dapat berupa material alami maupun buatan. *Landfill liners* membatasi bagian bawah dan sisi samping *landfill* yang bertemu langsung dengan permukaan tanah.

### 2.3.3 Bioreaktor *Landfill*

Bioreaktor adalah unit pemrosesan akhir sampah yang merupakan perkembangan dari sistem pemrosesan akhir sampah *sanitary landfill*. Bioreaktor *landfill* adalah modifikasi *landfill* konvensional yang dioperasikan dengan penambahan lindi yang tidak mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) atau penambahan air yang bertujuan untuk mempercepat proses dekomposisi sampah dan menghasilkan gas *landfill* (US. Environmental Protection Agency, 2004; Johnson *et.al.*, 2005). Hal ini menjadikan bioreaktor *landfill* sebagai salah satu metode pemrosesan sampah yang biasa digunakan saat ini (Fu *et.al.*, 2009).

Pengertian lainnya mengenai bioreaktor *landfill* adalah *landfill* yang ditambahkan nutrisi dengan cara untuk meresirkulasi lindi (Johnson *et.al.*, 2005).

Parameter desain yang diterapkan agar suatu bioreaktor *landfill* beroperasi dengan baik menurut US. Environmental Protection Agency MACT Rule adalah (US. EPA, 2003; Johnson *et.al.*, 2005):

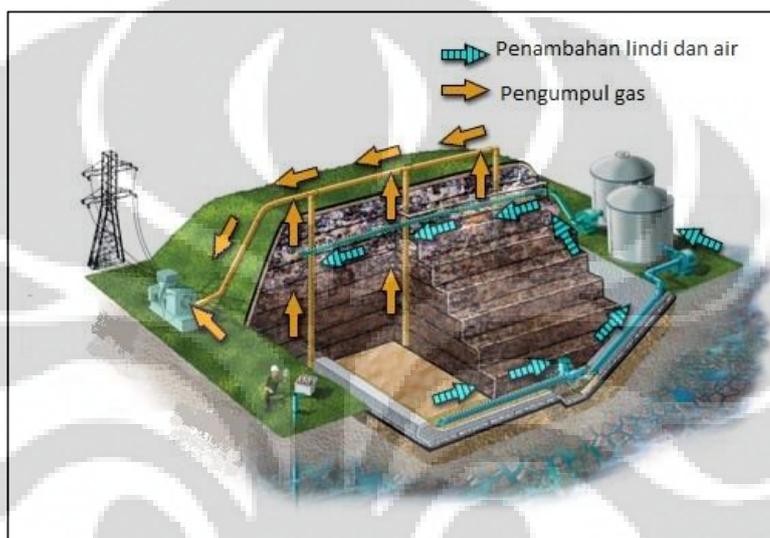
- Resirkulasi lindi untuk mencapai kadar air minimum 40%
- Instalasi pengendalian dan pengumpulan gas *landfill*
- Saat kadar air mencapai 40%, instalasi gas dioperasikan selama 180 hari

Jenis-jenis bioreaktor *landfill* adalah sebagai berikut:

#### a. Bioreaktor *Landfill* Anaerobik

Pada bioreaktor *landfill* anaerobik kadar air ditambahkan pada pemrosesan akhir sampah. Pada bioreaktor jenis ini gas metana yang dihasilkan lebih banyak, degradasi zat organik lebih kecil daripada kondisi aerobik, dan zat organik diresirkulasikan kembali melalui resirkulasi lindi (Sun *et.al.*, 2014). Namun menurut Borglin *et.al.* (2004), pada beberapa bioreaktor *landfill* anaerobik lindi tidak diresirkulasikan kembali, bioreaktor *landfill* jenis ini biasa disebut dengan bioreaktor *landfill* anaerobik kering. Karena pada proses biodegradasi yang diinginkan pada kondisi ini membutuhkan mikroorganisme anaerob, maka udara tidak ditambahkan pada bioreaktor *landfill* jenis ini sehingga tidak ada keberadaan oksigen (Johnson *et.al.*, 2005).

Dibandingkan bioreaktor *landfill* jenis lain, temperatur yang terjadi pada proses degradasi bioreaktor *landfill* jenis ini lebih rendah dibandingkan bioreaktor *landfill* jenis lainnya. Kelebihan bioreaktor *landfill* anaerobik berada di aspek ekonomi, karena udara tidak ditambahkan sehingga tidak dibutuhkan instalasi *blower*. Kekurangan bioreaktor *landfill* jenis ini senyawa amonia yang dihasilkan lebih banyak (Berge, 2006). Skema bioreaktor *landfill* anaerobik dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Skema Bioreaktor *Landfill* Anaerobik

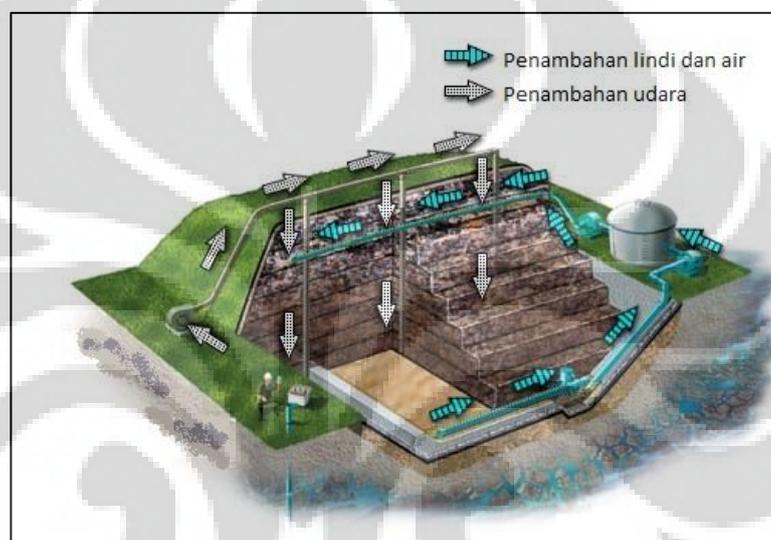
Sumber: <http://www.epa.gov> (2013)

b. Bioreaktor *Landfill* Aerobik

Pada bioreaktor *landfill* aerobik gas metana yang dihasilkan sangat sedikit bahkan tidak ada, degradasi zat organik pada kondisi ini lebih besar daripada kondisi anaerobik, dan sama halnya dengan bioreaktor anaerobik zat organik diresirkulasikan kembali melalui resirkulasi lindi (Sun *et.al.*, 2014). Karena pada proses biodegradasi yang diinginkan pada kondisi ini membutuhkan mikroorganisme aerob, maka udara dan air ditambahkan pada bioreaktor *landfill* jenis ini (Johnson *et.al.*, 2005).

Dibandingkan bioreaktor *landfill* jenis lain, temperatur yang terjadi pada proses degradasi bioreaktor *landfill* jenis ini lebih tinggi dibandingkan bioreaktor *landfill* jenis lainnya. Karena temperatur yang dihasilkan lebih

tinggi, maka volume lindi akan berkurang akibat mengalami evaporasi. Selain volume lindi yang berkurang, kelebihan bioreaktor *landfill* aerobik lainnya adalah berkurangnya potensi kebakaran di *landfill* karena tidak ada gas metana yang dihasilkan. Kekurangan bioreaktor *landfill* jenis ini tidak dihasilkan gas metana yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif. Selain itu konsentrasi hidrogen sulfida dan *volatile organic acid* bertambah akibat kondisi aerobik, sehingga menimbulkan permasalahan bau (Berge, 2006). Skema bioreaktor *landfill* aerobik dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Skema Bioreaktor *Landfill* Aerobik

Sumber: <http://www.epa.gov> (2013)

c. Bioreaktor *Landfill* Hibrid

Bioreaktor *landfill* hibrid adalah jenis bioreaktor *landfill* yang mengkombinasikan kondisi aerobik dan anaerobik. Pengertian ini merujuk kepada sistem yang mengembangkan bioreaktor dari kondisi aerobik kemudian kondisi anaerobik untuk mempercepat degradasi organik yang berada pada lindi (Johnson *et.al.*, 2005; Berge, 2006).

Pada bioreaktor *landfill* hibrid akan terjadi proses transformasi nitrogen, yakni nitrifikasi dan denitrifikasi, hal ini berdampak pada penghilangan amonia in-situ pada *landfill* (Berge, 2006).

## 2.4 Dekomposisi Organik pada Sampah

Dekomposisi organik pada *landfill* dapat dibedakan menjadi dua fase utama biologis (Johnson *et.al.*, 2005):

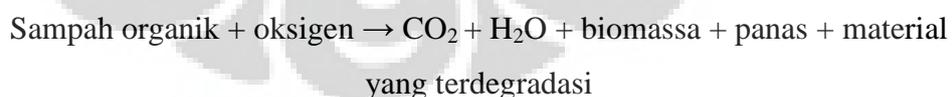
- Fase dekomposisi aerobik; terjadi pada saat sampah pertama kali diproses dalam *landfill*
- Fase dekomposisi anaerobik; terjadi pada saat kandungan oksigen dalam sampah sudah habis bereaksi dengan kandungan organik sampah.

Berikut adalah penjelasan fase dekomposisi aerobik dan anaerobik *landfill* (McBean *et.al.*, 1995):

### a. Dekomposisi aerobik

Dekomposisi aerobik adalah fase dekomposisi dimana dalam proses degradasi sampah dibutuhkan oksigen. Dekomposisi aerobik terjadi pada saat sampah pertama kali diproses dalam *landfill*. Pada kondisi *landfill* yang tidak ditambahkan udara pada prosesnya, dekomposisi aerobik hanya akan berlangsung pada permukaan *landfill*. Pada kasus *landfill* yang tidak ditambahkan udara, dekomposisi aerobik memberikan pengaruh cukup sedikit untuk dekomposisi sampah secara keseluruhan.

Karakteristik dekomposisi aerobik adalah proses degradasi terjadi cukup cepat hal ini dikarenakan kadar BOD yang tinggi, mempengaruhi proses anaerobik yang terjadi setelahnya, serta membutuhkan jumlah oksigen yang cukup banyak. Persamaan reaksi untuk dekomposisi secara aerobik adalah sebagai berikut:



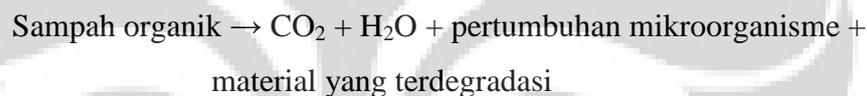
Lindi biasanya tidak terproduksi pada dekomposisi aerobik, hal ini dikarenakan sampah yang diolah tidak memenuhi nilai kapasitas ruang pada fase-fase dekomposisi awal. Mikroorganisme aerob memproduksi CO<sub>2</sub> dalam jumlah banyak, sekitar 90% dari jumlah gas yang dihasilkan.

Terlepasnya karbon dioksida dari *landfill* mengakibatkan pembentukan asam karbonat, sehingga pH yang dihasilkan pada lindi turun (asam).



b. Dekomposisi asidogenesis anaerobik (nonmetanogenesis)

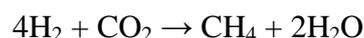
Fase kedua adalah dekomposisi fase asidogenesis anaerobik. Fase ini merupakan fase minor yang terjadi antara dekomposisi aerobik dan anaerobik. Pada fase ini jumlah mikroorganisme fakultatif aerob meningkat akibat ketersediaan oksigen yang menipis. Pada fase asam atau asidogenesis anaerobik ini diproduksi asam organik, amonia, hidrogen, dan karbon dioksida pada konsentrasi yang besar. Pada saat fermentasi senyawa asam, karbon dioksida akan dihasilkan dengan persamaan:



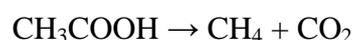
Nilai pH dari sampah biasanya akan turun menjadi 5,5 hingga 6,5.

c. Dekomposisi anaerobik (metanogenesis)

Pada saat proses dekomposisi, oksigen yang tersedia bertahap akan habis, potensi redoks berkurang, dan fase yang melibatkan mikroorganisme metanogenik akan berlangsung. Dekomposisi oleh mikroorganisme ini akan menghasilkan karbon dioksida, metana, dan air. Secara karakteristik, fase ini akan berlangsung secara lambat namun sangat efektif untuk mendekomposisi zat organik yang ada di dalam *landfill*. Reaksi yang berlangsung dengan bantuan mikroorganisme metanogenik adalah:



dan



Konsumsi asam organik akan menaikkan pH lindi menjadi 7 hingga 8. Biasanya kandungan organik pada lindi akan berkurang. Gas  $N_2$  dan  $H_2S$  akan dihasilkan pada proses dekomposisi anaerobik. Nitrogen bebas akan dilepas melalui proses denitrifikasi oleh mikroorganisme. Asam sulfat akan diproduksi oleh mikroorganisme pereduksi sulfat.

Hidrogen diproduksi pada fase nonmetanogenesis namun akan bereaksi pada saat fase metanogenesis. Hal ini menyebabkan gas  $H_2$  tidak ditemukan pada saat terdapat gas metana dalam *landfill*. Pada saat fase metanogenesis, nilai pH lindi cenderung netral, kandungan *volatile fatty acid* rendah, dan kandungan TDS pada lindi juga rendah. Rangkuman mengenai produk yang dihasilkan dari dekomposisi aerobik dan anaerobik dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Produk yang Dihasilkan dari Dekomposisi

Jenis Dekomposisi	Produk yang Dihasilkan
Aerobik	$CO_2$ , $H_2O$ , nitrat, dan nitrit
Anaerobik	$CH_4$ , $CO_2$ , $H_2O$ , asam organik, nitrogen, amonia, asam sulfat

Sumber: McBean *et.al.* (1995)

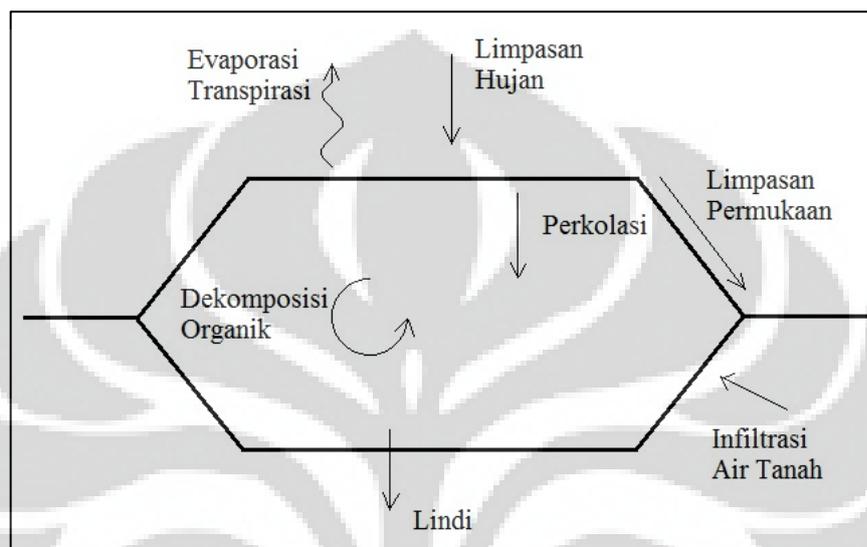
## 2.5 Lindi

### 2.5.1 Pengertian Lindi

Lindi adalah zat cair yang berasal dari penapisan air hujan dan air yang ada di permukaan, infiltrasi air tanah yang kemudian melalui sampah dan mengekstraksi material organik yang tersuspensi dan terlarut dalam sampah (Tchobanoglous *et.al.*, 1993).

Kandungan air yang berada dalam *landfill* berasal dari infiltrasi dari permukaan *landfill* yang berasal hujan, limpasan permukaan *landfill*, infiltrasi air tanah, dekomposisi sampah akibat penguraian mikroorganisme (Johnson *et.al.*, 2006), serta evaporasi yang terjadi pada *landfill*. Kandungan air dalam sampah yang berada dalam pemrosesan akhir *landfill* biasanya dibawah kondisi jenuh dan mengakibatkan adsorpsi dari air permukaan yang terinfiltrasi sehingga

membentuk lindi. Kapasitas adsorpsi air dalam *landfill* dan waktu retensi air dalam *landfill* membuat kandungan organik dalam lindi sulit untuk dispesifikasikan mengingat heterogenitas dari sampah yang berada dalam suatu *landfill* (Christensen *et.al.*, 1992). Keseluruhan unsur-unsur yang mempengaruhi proses pembentukan lindi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 5 Skema Pembentukan Lindi

Sumber: McBean *et.al.* (1995)

### 2.5.2 Komposisi Lindi

Komposisi lindi sangat dipengaruhi oleh usia *landfill*, beberapa sumber membedakan lindi menjadi lindi muda dan lindi tua. Lindi muda terbentuk dari *landfill* yang berusia kurang dari satu tahun (McBean *et.al.*, 1995), sumber lain menyebutkan kurang dari dua tahun sampah (Tchobanoglous *et.al.*, 1993). Sedangkan lindi tua terbentuk dari *landfill* yang berusia lebih dari empat tahun (McBean *et.al.*, 1995), sumber lain menyebutkan syarat lindi tua adalah berasal dari *landfill* yang berusia lebih dari sepuluh tahun sampah (Tchobanoglous *et.al.*, 1993). Berikut adalah karakteristik lindi muda dan lindi tua (McBean *et.al.*, 1995):

a. Lindi muda

Lindi muda adalah lindi yang terbentuk pada *landfill* dengan usia kurang dari satu tahun. Lindi jenis ini mengandung zat organik seperti *volatile fatty acid*. Kisaran pH pada lindi jenis ini berkisar antara 6 hingga 7 bahkan kurang dari jumlah tersebut pada kondisi *landfill* saat memiliki kadar air yang rendah. Lindi muda terbentuk dari proses degradasi senyawa organik seperti selulosa dan senyawa organik terlarut sederhana seperti asam organik.

b. Lindi tua

Lindi tua adalah lindi yang terbentuk pada *landfill* dengan usia lebih dari empat tahun. Lindi jenis ini memiliki rentang pH antara 7 hingga 8. Akibat kenaikan nilai pH, maka berpengaruh pada dekomposisi organik pada *landfill* dan pembentukan gas *landfill*. Salah satu parameter dari umur lindi adalah kadar nitrogen dalam lindi.

Komposisi lindi tua dan lindi muda dapat dilihat pada Tabel 2.6 (Tchobanoglous *et.al.*, 1993):

Tabel 2. 6 Komposisi Lindi Muda dan Tua

Parameter	Nilai, mg/L	
	Lindi Muda	Lindi Tua
<b>BOD</b>	2.000-30.000	100-200
<b>TOC (total organic carbon)</b>	1.500-20.000	80-160
<b>COD</b>	3.000-60.000	100-500
<b>TSS</b>	200-2.000	100-400
<b>Nitrogen organik</b>	10-800	80-120
<b>Nitrogen amonia</b>	10-800	20-40
<b>Nitrat</b>	5-40	5-10
<b>Fosfor</b>	5-100	5-10
<b>Alkalinitas</b>	1.000-10.000	200-1.000
<b>pH</b>	4,5-7,5	6,6-7,5
<b>Kesadahan</b>	300-10.000	200-500
<b>Kalsium</b>	200-3.000	100-400
<b>Magnesium</b>	50-1.500	50-200
<b>Sulfat</b>	50-1.000	20-50

Sumber: Tchobanoglous *et.al.* (1993)

### 2.5.3 Resirkulasi Lindi

Pada beberapa kasus, lindi yang sudah dikumpulkan pada jaringan pengumpul lindi akan diresirkulasikan kembali pada *landfill*. Tujuan dari resirkulasi lindi adalah untuk mempercepat stabilisasi material organik pada *landfill*. Resirkulasi lindi dapat dilakukan mulai dari *landfill* pertama kali dioperasikan, disaat lindi yang diproduksi masih rendah. Manfaat dari resirkulasi lindi adalah mengatasi permasalahan produksi lindi yang berlebihan pada musim/waktu tertentu, jumlah lindi yang berlebihan tersebut dapat diresirkulasikan seluruhnya (McBean *et.al.*, 1995).

Tingkat penurunan zat organik BOD, COD, dan TOC pada tahun ketiga pengoperasian resirkulasi lindi cukup signifikan. Lumpur sisa produksi air limbah dapat ditambahkan pada *landfill* untuk mengatur pH. Beberapa kelebihan pengolahan lindi dengan resirkulasi lindi diantaranya (Christensen *et.al.*, 1992) :

- Mengurangi volume lindi yang dihasilkan suatu *landfill*
- Menurunkan BOD pada lindi dan mempercepat dekomposisi
- Menaikkan produksi gas metana
- Menurunkan biaya operasional
- Sebagai nutrisi pada proses dekomposisi anaerobik

Selain keuntungan diatas, sistem resirkulasi lindi juga dapat memaksimalkan evaporasi pada *landfill*. Lindi yang terserap kurang dari 10 cm dari permukaan *landfill* akan mudah menguap sehingga volume lindi yang dihasilkan berkurang (Christensen *et.al.*, 1992). Sedangkan kekurangan pengolahan lindi dengan resirkulasi lindi diantaranya:

- Lindi berpotensi mengendap di sistem perpipaan
- Lindi berpotensi membuat mampat
- Menimbulkan permasalahan bau

Mengurangi tingkat pencemar pada lindi dapat dilakukan dengan cara meningkatkan kadar air pada *landfill*. Tingkat penurunan beberapa jenis pencemar akan lebih cepat pada kondisi sampah jenuh. Pada beberapa kasus *landfill* dengan tingkat evaporasi rendah, volume lindi yang dihasilkan tidak berkurang.

#### 2.5.4 Transformasi dan Penyisihan Nitrogen pada Lindi

Transformasi dan penyisihan nitrogen dengan resirkulasi lindi merupakan proses yang cukup kompleks menyangkut proses fisik, kimiawi, dan biologis. Berikut adalah siklus nitrogen pada bioreaktor :

##### a. Amonifikasi

Protein yang terkandung dalam sampah merupakan sumber utama nitrogen. Konversi nitrogen organik menjadi amonia oleh bakteri heterotrofik biasa disebut dengan amonifikasi. Amonifikasi merupakan proses yang terbagi menjadi dua tahap yaitu proses hidrolisis protein dengan bantuan enzim dalam melepas asam amino oleh mikroorganisme baik aerobik maupun anaerobik dan fermentasi asam menjadi karbondioksida, amonia, dan *volatile fatty acid*.

Setelah terjadi proses amonifikasi, amonia yang dihasilkan terlarut dalam lindi kemudian siap mengalami proses perubahan dan/atau penurunan baik menguap, mengabsorpsi, atau proses biologis lainnya (Berge, 2006).

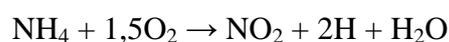
b. Penguapan

Pada *landfill*, kandungan amonia pada gas *landfill* berkisar antara 0,1 hingga 1% (Tchobanoglous *et.al.*, 1993). Amonia bukan merupakan emisi gas rumah kaca, sehingga dampaknya pada lingkungan tidak lebih berbahaya dari metana, namun beberapa dampak kesehatan dapat terjadi akibat terpapar gas amonia. Dampak gas amonia diantaranya bau dan dapat menyebabkan iritasi pernapasan.

Penguapan hanya terjadi pada saat ada amonia bebas pada *landfill*. Pada saat rentang pH pada *landfill* berada pada kisaran 10,5 hingga 11,5, beberapa amonia akan menguap dan membentuk gas amonia (NH<sub>3</sub>). Aerasi merupakan salah satu aspek penting proses penguapan amonia. Ketika terdapat udara, konsentrasi gas amonia akan mendilusi lindi, sehingga mempercepat proses pembentukan gas amonia (Berge, 2006).

c. Nitrifikasi

Nitrifikasi adalah proses yang biasanya terjadi pada air limbah dalam mengubah amonia menjadi nitrit (NO<sub>2</sub>) dan nitrat (NO<sub>3</sub>) oleh mikroorganisme aerob, autotrofik, kemolitotrofik. Karena nitrifikasi merupakan proses aerobik, maka pada *landfill* atau bioreaktor *landfill* yang tidak ditambahkan udara biasanya tidak akan terjadi. Pada unit pemrosesan akhir landfil yang ditambahkan udara, nitrifikasi merupakan cara yang tepat untuk menurunkan konsentrasi nitrogen pada unit pemrosesan akhir *landfill*. Pada tahap pertama nitrifikasi, bakteri *Nitrosomonas* mengoksidasi amonia menjadi nitrit, dengan reaksi sebagai berikut:



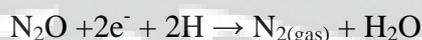
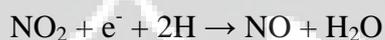
Pada tahap kedua proses nitrifikasi, bakteri *Nitrobacter* mengoksidasi nitrit menjadi nitrat, dengan reaksi sebagai berikut:



Bakteri penitrifikasi berperan dalam menjaga keseimbangan karbon yang digunakan sebagai sumber energi, sehingga menghasilkan laju perkembangan maksimum. Pada saat proses nitrifikasi, bakteri penitrifikasi juga mengubah sumber alkalinitas ( $\text{CaCO}_3$ ) pada sampah menjadi asam nitrat. Nilai pH dan temperatur mempengaruhi proses nitrifikasi, nilai pH optimum untuk bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* berkisar antara 7,5 hingga 8,5. Sedangkan temperatur optimum proses nitrifikasi berkisar antara  $30^\circ\text{C}$  hingga  $35^\circ\text{C}$ . Namun, ketika temperatur dalam bioreaktor mencapai  $40^\circ$ , tidak akan terjadi proses nitrifikasi (Berge, 2006).

d. Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses anoksik dimana terjadi penurunan nitrat menjadi nitrit, nitrogen monoksida (NO), dinitrogen monoksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), dan menjadi gas nitrogen, dengan reaksi sebagai berikut:

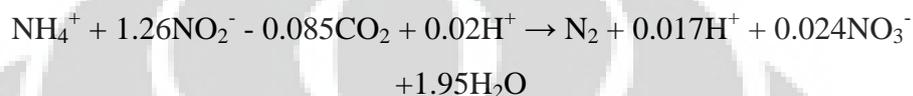


Bakteri pendenitrifikasi adalah bakteri heterotrofik, fakultatif aerob, dimana menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron ketika tidak tersedia atau terbatasnya oksigen. Kelebihan proses dinitrifikasi dalam pengolahan akhir sampah dalah secara simultan akan menurunkan konsentrasi karbon dan nitrat tanpa tersedianya oksigen. Nilai pH dan temperatur mempengaruhi proses denitrifikasi, nilai pH optimum untuk proses denitrifikasi berkisar antara 6 hingga 8. Sedangkan temperatur optimum proses denitrifikasi

berkisar antara 5°C hingga 30°C. Proses denitrifikasi akan meningkat sesuai dengan kenaikan temperatur (Berge, 2006).

e. *Anammox*

Anammox adalah proses oksidasi biologis yang terjadi pada kondisi anaerobik. Pada prosesnya anammox mengkonversi amonia menjadi nitrit melalui proses serah-terima elektron antara amonia sebagai pendonor dan nitrit sebagai reseptor dengan reaksi sebagai berikut:

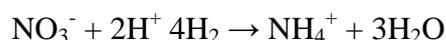


Mikroorganismenya yang berpengaruh pada proses anammox berasal dari familia Planctomycetales. Proses anammox terjadi pada lingkungan dengan waktu retensi yang cukup lama, stabil, dan terdapat keberadaan amonia sebagai pendonor (Berge, 2006).

Sebagai bentuk penyisihan amonia pada kondisi anaerobik, laju penyisihan *anammox* kurang dari setengah dari proses nitrifikasi aerobik (Valencia *et.al.*, 2011).

f. *Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium* (DNRA)

DNRA (red: penyisihan nitrat menjadi amonia secara disimilasi) terjadi pada kondisi anaerobik atau anoksik. Proses ini terjadi ketika jumlah mikroorganismenya yang berperan sebagai akseptor (penitifikasi) terbatas dan berada pada lingkungan dengan kadar karbon organik yang tinggi. Selain itu konsentrasi COD yang tinggi juga menjadi syarat utama dalam proses ini karena dapat menjadi bahan metabolisme mikroorganismenya yang berperan di dalamnya (Berge, 2006). Proses DNRA memenuhi reaksi:



## 2.6 Studi Terdahulu

Tabel 2. 7 Studi Terdahulu yang Berkaitan dengan Penelitian

No.	Penulis	Judul	Ringkasan	Metode	Kesimpulan
1.	He, R., Shen, D. (2006)	<i>Nitrogen removal in bioreactor landfill system with intermittent aeration at top landfilled waste</i>	Penggunaan aerasi dengan sistem intermiten pada lapisan atas <i>landfill</i> . Sampah yang digunakan merupakan sampah domestik dengan komposisi tipikal kota Ningbo, Tiongkok, sebagai kota yang diteliti.	Digunakan dua rangkaian bioreaktor yang memiliki fungsi yang berbeda. Reaktor awal adalah reaktor untuk mendekomposisi sampel yang menghasilkan lindi, sedangkan reaktor selanjutnya adalah <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> (UASB) untuk mengolah lindi. Parameter lindi yang diukur yang ditampung dari bioreaktor UASB adalah COD, VFA, total nitrogen (TN), amonia, nitrit, pH. Keseluruhan diukur dengan metode konvensional kecuali VFA dianalisis dengan etilen glikol kolorimetrik.	Pada kondisi aerasi intermiten, konsentrasi amonia dan total nitrogen (TN) akan turun hingga 186-289 mg/l dimana konsentrasinya akan mencapai 1.000 mg/l jika tidak diberikan aerasi secara intermiten
2.	Lubberding, Henk J., Valencia, R., Salazar,	<i>Release and conversion of ammonia in bioreactor</i>	Membandingkan lindi yang dihasilkan dari 6 jenis sumber tempat pengolahan sampah yang memiliki	Membandingkan lindi yang dihasilkan oleh suatu bioreaktor dari 6 jenis sumber yang memiliki	Pada kondisi anaerobik, konsentrasi bakteri Annamox meningkat dan memiliki peranan penting

	R., Lens, Piet N.L. (2010)	<i>landfill</i>	karakteristik yang berbeda untuk dianalisis penyisihan amonia yang dihasilkan sehingga dapat ditinjau potensi mencemari air tanah dan atmosfer oleh amonia.	karakteristik yang berbeda. Reaktor yang digunakan berbahan plastik dan berbentuk tabung. Dikenakan perlakuan resirkulasi lindi. Sampel lindi setelah ditampung disimpan dalam <i>freezer</i> , parameter yang dianalisis pH, BOD, amonia, dan klorida. pH dianalisis dengan WTW pH 340, BOD dengan <i>Standard Method</i> , amonia dengan standar NEN.	pada penghilangan amonia
3.	He, R., Liu, X., Zhang, Z., Shen, D. (2007)	<i>Characteristic of the bioreactor landfill system using an anaerobic-aerobic process for nitrogen removal</i>	Pengolahan gabungan proses anaerobik-aerobik untuk resirkulasi lindi dalam mendegradasi zat organik dan amonia pada bioreaktor <i>landfill</i> dari <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> (UASB) dan <i>Air-Lift Loop Sludge Blanket</i> (ALSB)	Membandingkan dua reaktor dengan perlakuan yang berbeda, salah satunya menggunakan UASB dan ALSB sedangkan lainnya hanya menggunakan ALSB. Sampel lindi diukur dalam jangka waktu satu minggu untuk parameter COD, total nitrogen (TN), amonia, nitrat, pH, dan VFA untuk dua jenis reaktor yang berbeda dimana salah satunya diresirkulasi dan dialiri udara dan yang lainnya hanya diresirkulasi.	Pada kondisi anaerobik-aerobik, setelah 56 hari dioperasikan konsentrasi total nitrogen dan amonia berkurang hingga 200 mg/l.

4.	Borglin, S., Hazen, T., Oldenburg, C. (2004)	<i>Comparison of anaerobic and anaerobic biotreatment of municipal solid waste</i>	Pengolahan sampah domestik dengan komposisi sampah kertas lebih banyak dengan menggunakan bioreaktor hexagonal dengan memberikan perlakuan resirkulasi dan aerasi	Membandingkan tujuh reaktor dengan perlakuan yang berbeda, salah satunya diberikan aerasi dan resirkulasi lindi sedangkan yang lainnya hanya diresirkulasi lindi, perbedaan lainnya adalah kadar air pada reaktor, durasi pengamatan serta debit resirkulasi. Keseluruhan reaktor digunakan untuk mengkondisikan proses aerobik dan anaerobik pada bioreaktor serta variabel bebas lainnya. Parameter yang diukur adalah gas CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , dan O <sub>2</sub> menggunakan metode LandTec Monitoring, parameter suhu, tekanan, dan debit gas menggunakan LabView, parameter lindi seperti COD, BOD, TDS menggunakan <i>Standard Method</i> .	Pada kondisi aerobik, kadar amonia turun dari awalnya 100 mg/L menjadi 2 mg/L. sedangkan pada kondisi anaerobik, kadar amonia meningkat hingga 400 mg/L. Kedua perubahan tersebut diamati pada hari ke-1 dan hari ke-365.
5.	Berge, N., Reinhart, D., Dietz,	<i>In situ ammonia removal in bioreactor</i>	Pengolahan sampah domestik dengan kondisi komposisi sampah yang	Membandingkan dua reaktor dengan perlakuan yang berbeda, salah satunya	Konsentrasi amonia dan nitrat setiap bioreaktor menunjukkan tren

	J., Townsend, T. (2006)	<i>landfill leachate</i>	tidak bisa di daur ulang disisihkan menggunakan bioreaktor aerob	dengan sampah yang telah diaklimatisasi, sedangkan sampah lainnya tidak diaklimatisasi. Penelitian ini meninjau penyisihan amonia akibat proses nitrifikasi dan denitrifikasi dengan parameter yang diperiksa diantaranya massa mikroorganisme nitrifikasi, amonia, nitrit, nitrat. Amonia, nitrit, nitrat diuj dengan menggunakan sistem kromatografi DX-120 ion	penyisihan bahkan dimulai dari hari ke-40 berkisar 2-4 mg/L. Namun terjadi tren <i>spike</i> pada beberapa hari setelahnya hal ini dikarenakan terjadi proses anoksik (nitrifikasi dan denitrifikasi terjadi bersamaan).
6.	Fu, Z., Yang, F., An, Y., Xue, Y. (2009)	<i>Characteristic of nitrite and nitrate in situ denitrification in landfill bioreactors</i>	Pengolahan sampah baru dengan menggunakan bioreaktor anaerob dengan perlakuan penambahan sampah setiap 48 jam dan air dengan menggunakan komposisi sampah tipikal kota Dalian, Tiongkok, sebagai kota yang diteliti	Membandingkan dua reaktor anaerob yang diresirkulasi dan diberi penambahan sampah setiap 48 jam salah satunya ditambahkan nitrit sebanyak 200 mL 4.000 gr, sedangkan sampah lainnya ditambahkan nitrat sebanyak 200 mL 4.000 gr. Penelitian ini meninjau penyisihan nitrat (dari reaktor 1) dan nitrit (dari reaktor 2). Parameter COD, amonia,	Setelah 160 hari penelitian, penyisihan nitrit dan nitrat sebesar 98% dengan resirkulasi lindi.

				nitrat, nitrit diuji dengan <i>Standard Method</i> , pH dengan pH meter, dan mikroorganismen diuji dengan mengekstraksi sampel yang digunakan untuk mengukur nitrit dan nitrat dengan <i>absorbed waste matrix</i> .	
7.	Sun, F., Sun, B., Li, Q., Deng, X., Hu, J., Wu, W. (2014)	<i>Pilot-scale nitrogen removal from leachate by ex situ nitrification and in situ denitrification in a landfill bioreactor</i>	Pengolahan sampah dengan menggunakan nitrifikasi ex situ dan denitrifikasi ex situ	Digunakan dua rangkaian reaktor pertama merupakan reaktor aerob sebagai proses nitrifikasi dan reaktor denitrifikasi. Lindi yang dihasilkan dari proses pengolahan bioreaktor aerob kemudian disedimentasikan selama 30 hari. Kemudian diinjeksi ke bioreaktor denitrifikasi. Parameter COD, alkalinitas, amoniak nitrat, nitrit, dan total nitrogen diukur dengan <i>Standard Method</i> . Parameter mikroorganismen penitrifier dan pendetrifier diuji dengan ekstraksi DNA dan <i>Quantitative PCR</i> .	Rata-rata penyisihan amonia pada fase 1 (hari ke-1 hingga 20) mencapai 84%. Pada fase 2 (hari ke 21-110) penyisihan nitrat cenderung signifikan.

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)

Beberapa metodologi penelitian ini mengadopsi berbagai sumber literatur termasuk jurnal di atas sebagai pertimbangan pelaksanaan penelitian. Beberapa hal yang membedakan penelitian ini dengan penelitian di atas yang berhubungan dengan penyisihan amonia pada lindi diantaranya pada parameter perbedaan pengaruh aerasi pada bioreaktor, komposisi sampah, dan penambahan air sebagai hujan artifisial.



## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian merupakan pengkajian suatu masalah yang terjadi di lingkungan dengan berlandaskan ilmu pengetahuan, sehingga dapat ditemukan solusi dari permasalahan tersebut. Dalam perkembangannya suatu penelitian harus memuat aspek unik, kontekstual, dan mutakhir. Penelitian yang unik adalah penelitian yang bersifat orisinal serta memiliki segi pembeda dengan penelitian lain yang serupa. Penelitian harus memuat aspek kontekstual yaitu kesesuaian unsur yang akan diteliti terhadap masalah yang terjadi di lingkungan lokal/regional. Kemudian penelitian harus bersifat mutakhir, penelitian harus menemukan permasalahan baru atau mengembangkan penelitian sebelumnya.

Metode yang dilaksanakan pada penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimental dengan menggunakan variabel bebas yang sengaja dimanipulasi. Variabel bebas ini biasa disebut dengan variabel ekperimental. Variabel-variabel yang terdapat pada penelitian ini memuat pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif dilaksanakan dengan menggunakan pengukuran dan observasi kepada objek penelitian. Setelah mendapatkan data penelitian, data hasil pengamatan dibandingkan dengan teori dalam pembahasan penelitian.

#### **3.2 Kerangka Berpikir**

Penelitian ini berawal dari masalah peningkatan timbulan sampah di berbagai tempat pengolahan akhir sampah di Indonesia seiring bertambahnya populasi penduduk. Dampak yang ditimbulkan dari peningkatan timbulan sampah tersebut diantaranya berkurangnya lahan yang tersedia untuk pemrosesan akhir sampah dan meningkatnya potensi pencemaran lingkungan yang dihasilkan.

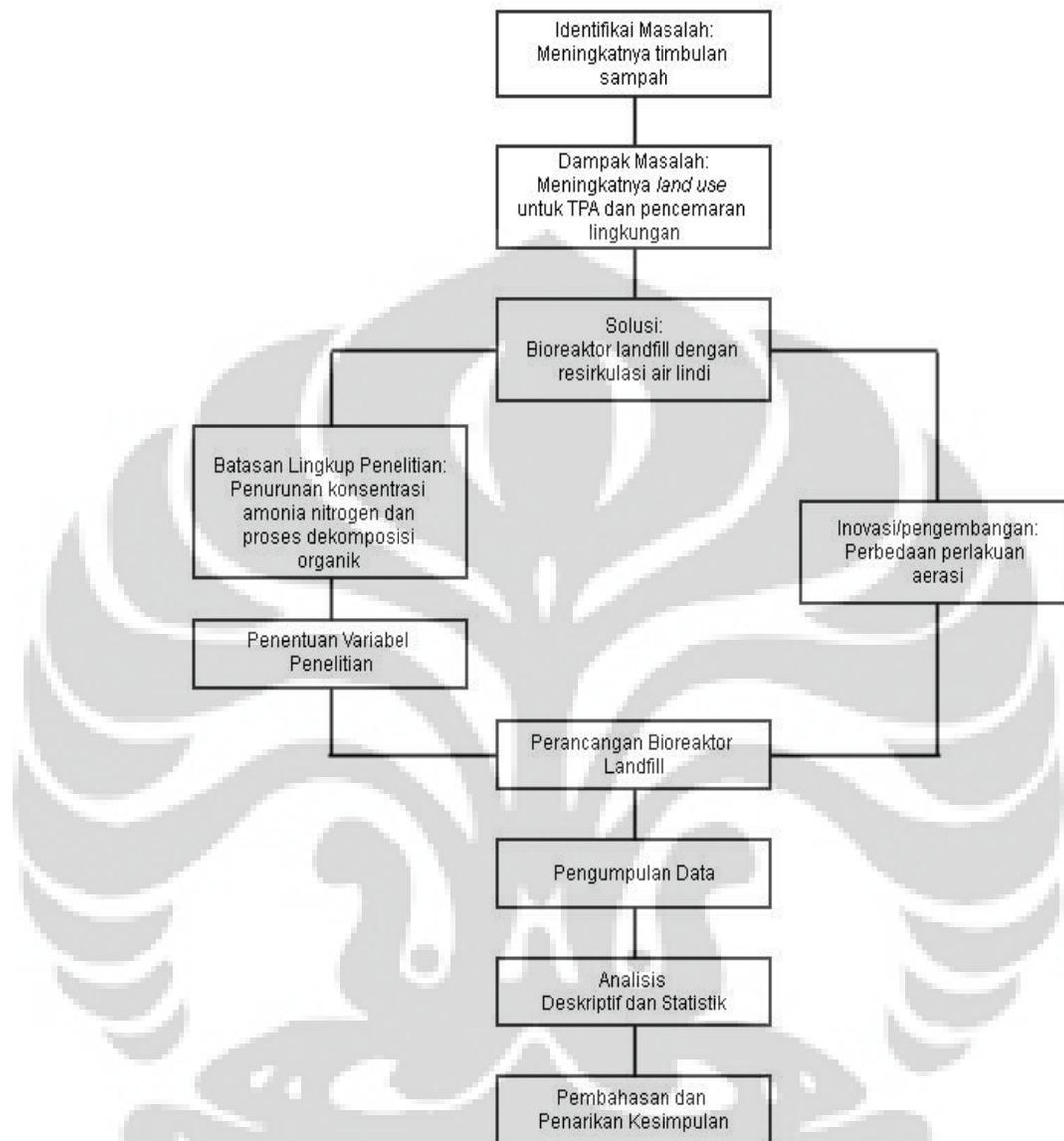
Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan unit pemrosesan akhir sampah yang dapat mengakomodasi timbulan sampah yang semakin meningkat. Salah satu faktor kunci pemrosesan akhir sampah untuk lahan yang terbatas adalah kecepatan

proses dekomposisi sampah dalam *landfill*, semakin cepat proses dekomposisi sampah yang diolah maka akan semakin sedikit lahan yang digunakan untuk pengoperasian *landfill*.

Bioreaktor *landfill* merupakan salah satu alternatif unit pemrosesan sampah yang dapat diterapkan untuk mengatasi peningkatan volume timbulan sampah pada tempat pemrosesan akhir sampah. Salah satu perbedaan antara bioreaktor *landfill* dengan sanitary *landfill* konvensional adalah perlakuan resirkulasi lindi dan aerasi (Sun *et.al.*, 2014). Kedua perlakuan ini dapat mempercepat proses degradasi sampah. Dengan dilakukannya resirkulasi lindi, maka terjadi proses nitrifikasi dan denitrifikasi pada bioreaktor *landfill* (Berge *et.al.*, 2005). Proses ini akan mempengaruhi penurunan parameter kualitas lindi, termasuk parameter amonia pada bioreaktor.

Dalam perkembangannya, bioreaktor *landfill* dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya bioreaktor *landfill* aerobik dan bioreaktor *landfill* anaerobik (Johnson, 2006). Perbedaan kedua jenis bioreaktor *landfill* tersebut berada pada perbedaan perlakuan aerasi yang diberikan. Pada bioreaktor *landfill* aerobik diberikan perlakuan aerasi sedangkan pada bioreaktor *landfill* anaerobik tidak diberikan perlakuan aerasi.

Penelitian ini fokus terhadap analisis penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill* dengan perbedaan perlakuan aerasi. Penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill* merupakan suatu hal yang sangat penting karena keberadaan amonia dalam *landfill* sulit diolah. Konsentrasi amonia yang tinggi dalam lindi terkait dengan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup karena dapat mencemari tanah dan badan air (Long *et.al.*, 2007). Transformasi amonia nitrogen pada bentuk gas menghasilkan senyawa oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), gas  $\text{No}_x$  sebagai salah satu senyawa gas yang diemisikan pada *landfill* ini dapat dikategorikan sebagai salah satu gas rumah kaca yang memiliki derajat potensial  $\text{CO}_2$  besar. Dari pernyataan tersebut disimpulkan penelitian penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill* perlu dilakukan. Skema kerangka berpikir penelitian dapat dilihat di Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Berpikir

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel adalah atribut penelitian yang memiliki variasi dalam bentuk faktor, kondisi, atau perlakuan. Variabel pada penelitian ini dibedakan menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

#### a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah:

- Parameter fisik sampah meliputi temperatur sampah, kadar air sampah, volume lindi yang terbentuk, dan berat jenis sampah
- Parameter kimia sampah meliputi rasio C:N sampah, *Dissolved Oxygen (DO)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, dan pH lindi

#### b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi variabel lain dan mempengaruhi variabel lain. Variabel terikat pada penelitian ini adalah:

- Kandungan konsentrasi nitrogen pada lindi meliputi amonia ( $\text{NH}_3$ ), nitrit ( $\text{NO}_2$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3$ )
- Penurunan volume sampah pada bioreaktor

#### c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang berada diluar selain variabel bebas dan terikat. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah:

- Laju aerasi
- Volume air yang ditambahkan sebagai simulasi hujan
- Volume lindi yang diresirkulasi

### 3.4 Data Penelitian

Jenis data primer menurut jenis sampel yang diambil dibedakan menjadi data karakteristik sampah dan data karakteristik lindi. Sampel sampah diambil dari titik-titik pengambilan sampel sampah yang berada pada sisi pipa (*sock*). Sampel lindi

diambil dari bak penampung lindi yang berada di bawah bioreaktor. Pembagian waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1. Parameter data-data primer karakteristik sampah yang dibutuhkan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.2, sedangkan data-data primer karakteristik lindi dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 1 Pembagian Waktu Penelitian

Waktu	Minggu Penelitian	
	(dalam pekan)	(dalam hari)
W1	Pekan ke-1	Hari ke-1 sampai hari ke-7
W2	Pekan ke-2 hingga ke-8	Hari ke-8 sampai hari ke-56
W3	Pekan ke-9 hingga ke-21	Hari ke-57 sampai hari ke-150

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)

Tabel 3. 2 Data-data Primer Karakteristik Sampah

No.	Parameter	Frekuensi Pengukuran	Metode Pengukuran
1.	Penurunan ketinggian sampah	setiap hari kerja	secara konvensional menggunakan mistar
2.	Temperatur		pengukuran dengan menggunakan termometer digital jenis <i>fixed probe thermometer</i> pada setiap lubang <i>sock</i> bioreaktor <i>landfill</i>
3.	Total karbon (C)	awal penelitian dan akhir	metode spektrofotometri
4.	Total nitrogen (N)	pentahapan	metode Kjeldahl dan spektrofotometri
5.	Kadar air	W1: setiap hari W2: satu pekan sekali W3: dua pekan sekali	metode gravimetri

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)

Tabel 3. 3 Data-data Primer Karakteristik Lindi

No.	Parameter	Frekuensi Pengukuran	Metode Pengukuran
1.	pH	setiap hari kerja	pengukuran dengan menggunakan pH meter jenis <i>connected cable pH meter</i>
2.	Volume lindi		pengukuran secara konvensional menggunakan gelas ukur
3.	Amonia	W1: setiap hari W2: satu pekan sekali W3: dua pekan sekali	metode spektrofotometri dengan larutan reagen Nessler Hach™ Water Analysis
4.	Nitrit		metode spektrofotometri reduksi kadmium Hach™ Water Analysis dengan menggunakan reagen Nitriver®
5.	Nitrat		metode spektrofotometri besi sulfat Hach™ Water Analysis dengan menggunakan reagen Nitriver®
6.	DO		pengukuran dengan menggunakan DO meter jenis <i>connected cable DO meter</i>
7.	COD		metode sistem tertutup menggunakan Hach™ <i>COD Reactor</i> kemudian spektrofotometri

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)

Data sekunder yang diperlukan pada penelitian ini adalah data curah hujan Depok tepatnya di lokasi penelitian daerah Kampus Depok Universitas Indonesia. Data curah hujan diperoleh dari Laboratorium Hidrolika, Hidrologi, dan Sungai Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### 3.5 Instrumen Penelitian

#### 3.5.1 Desain Bioreaktor

Desain bioreaktor yang diterapkan pada penelitian ini adalah bioreaktor berbentuk tabung berbahan dasar pipa PVC. Bioreaktor berbentuk tabung untuk mempermudah perkolasi lindi yang dialirkan ke saluran yang terletak di bawah reaktor (Lubberding *et.al.*, 2010). Material pipa PVC (*polyvinyl chloride*) dipilih karena dapat menanggung tekanan kerja yang diakibatkan sampah di dalam reaktor, mudah dimanufaktur, dan tidak mengkontaminasi.

Pipa PVC yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan reaktor berdiameter 12 inch (314,8 mm). Jumlah bioreaktor yang digunakan pada penelitian kali ini berjumlah dua buah. Dimana salah satu bioreaktor akan diaerasi sedangkan yang lainnya tidak diaerasi. Panjang masing-masing bioreaktor sebesar 185 cm.

Agar dapat mengamati penurunan volume sampah yang ada di bioreaktor, sisi pipa PVC dipotong selebar 4 cm dan sepanjang 140 cm, kira-kira 15 cm dari dasar bioreaktor. Setelah dipotong, sisi yang berlubang tersebut ditutup dengan menggunakan akrilik bening. Akrilik bening yang digunakan memiliki ketebalan 4 mm dan disambungkan dengan perkuatan sekrup dan lem silikon untuk mencegah keluar-masuknya gas dalam bioreaktor. Untuk mengumpulkan gas yang dihasilkan dari dekomposisi sampah dalam bioreaktor, ditambahkan pipa saluran pengumpul gas yang tersambung dengan pipa melintang di bagian atas bioreaktor sehingga membentuk profil L. Pipa saluran pengumpul gas tersebut berdiameter  $\frac{3}{4}$  inch dan dilubangi di beberapa titik pada setiap jarak 10 cm untuk mengumpulkan gas yang berada di berbagai ketinggian bioreaktor. Pipa tersebut kemudian akan dihubungkan selang gas dan *gas bag*. Untuk mengamati parameter temperatur dan mengambil sampel sampah pada setiap ketinggian bioreaktor, ditambahkan lubang pengambilan

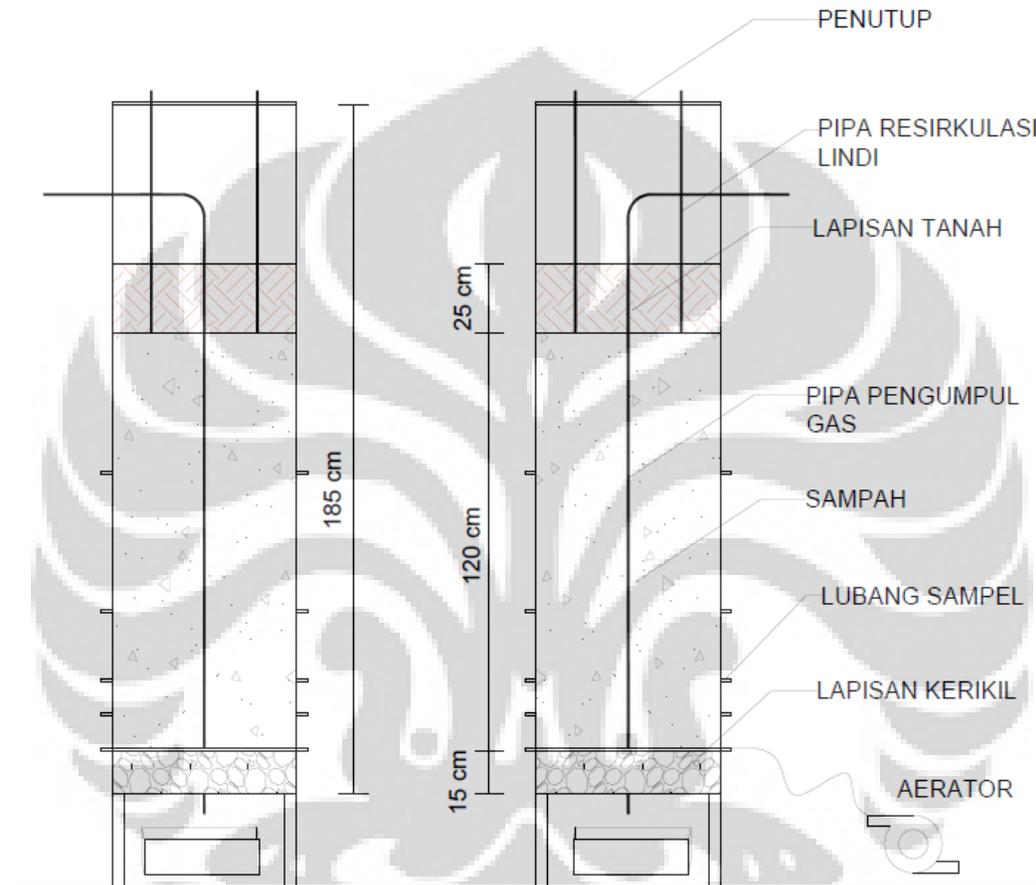
sampel di 5 titik ketinggian di sisi kanan-kiri bioreaktor yang dapat dilihat pada Tabel 3.4. Lubang tersebut berukuran  $\frac{1}{2}$  inch dan dapat dibuka-tutup dengan menggunakan *sock*.

Tabel 3. 4 Detail Titik Lubang Pengambilan Sampel

No.	Titik Lubang Sampel	Ketinggian dari Dasar Pipa
1.	A	30 cm
2.	B	45 cm
3.	C	60 cm
4.	D	90 cm
5.	E	135 cm

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)

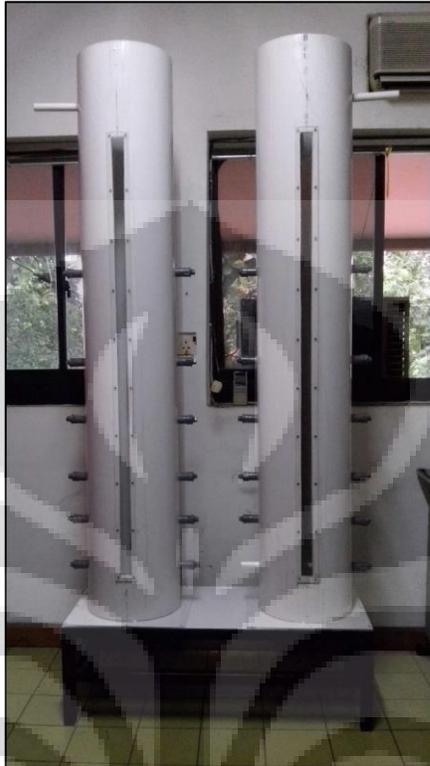
Pada bioreaktor aerobik ditambahkan saluran aerasi untuk menyalurkan udara ke bioreaktor aerobik. Saluran aerasi ditempatkan diatas lapisan kerikil dan dilubangi dengan diameter 3,5 mm setiap interval 2 cm agar udara bisa keluar dan didistribusikan ke dalam reaktor. Lubang pada saluran aerasi terletak disisi samping saluran untuk mencegah terbentuknya koloni mikroorganisme aerob. Pada dasar bioreaktor ditambahkan saluran drainase lindi. Saluran drainase lindi tersebut berada dalam posisi vertikal, berdiameter  $\frac{1}{2}$  inch, dan memiliki panjang 5 cm. Saluran tersebut berada langsung diatas bak penampung lindi. Untuk meresirkulasi lindi, ditambahkan empat pipa yang berada di bagian penutup bioreaktor. Pipa tersebut memiliki panjang 15 cm dengan ketinggian diluar permukaan penutup sebesar 5 cm dan 10 cm didalam penutup. Pipa tersebut akan dihubungkan dengan selang yang kemudian dihubungkan dengan permukaan sampah dalam bioreaktor untuk meresirkulasi lindi. Detail rancangan bioreaktor *landfill* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Rancangan Bioreaktor *Landfill*

Bioreaktor *Landfill* Anaerobik (kiri) dan Bioreaktor *Landfill* Aerobik (kanan)

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)



Gambar 3. 3 Bioreaktor *Landfill* yang Digunakan pada Penelitian Bioreaktor *Landfill* Anaerobik (kiri) dan Bioreaktor *Landfill* Aerobik (kanan)

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

### 3.5.2 Komponen Pengisi Bioreaktor

Selain sampah rumah tangga, material lain juga ditambahkan untuk mengkondisikan bioreaktor sesuai dengan pemodelan bioreaktor *landfill* di lapangan. Di bagian bawah sampah ditambahkan batu kerikil, penambahan batu kerikil pada bagian bawah bioreaktor bertujuan untuk mencegah lindi yang diperkolasi sampah dalam bioreaktor mampat (Borglin *et.al.*, 2004). Setelah batu kerikil lapisan selanjutnya adalah sampah yang akan diteliti. Lapisan diatas sampah adalah lapisan tanah penutup, namun diantara kedua lapisan tersebut ditambahkan lapisan geotekstil *non-waven* dengan plastik untuk mencegah keluar-masuknya gas di lapisan tanah penutup. Tinggi pengisian dari masing-masing komponen bioreaktor dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Komponen Pengisi Bioreaktor

No.	Komponen Pengisi	Tinggi Pengisian (mm)
1.	Kerikil	150
2.	Sampah	1200
3.	Tanah penutup	250

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)

### 3.5.3 Pemadatan Sampah

Setelah seluruh komponen pengisi bioreaktor diisi, selanjutnya dilakukan pemadatan sampah. Pemadatan sampah dilakukan untuk mencapai berat jenis sampah yaitu pada kisaran  $500 \text{ kg/m}^3$  hingga  $700 \text{ kg/m}^3$  (Tchobanoglous *et.al.*, 1993). Pada penelitian ini pemadatan dilakukan agar berat jenis sampah mencapai  $500 \text{ kg/m}^3$ . Pemadatan sampah dilakukan dengan memberikan beban di permukaan lapisan tanah atas. Beban yang diberikan sebesar 50 kg. Persamaan pemadatan sampah pada penelitian ini adalah sebagai berikut (Tipler, 1998).

$$W_s = \frac{m}{V}$$

dimana:

$W_s$  : berat jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  : massa (kg)

$V$  : volume ( $\text{m}^3$ )

Diketahui bioreaktor berbentuk tabung dengan jari-jari 15,24 cm. Ketinggian sampah yang akan diisi kedalam reaktor sebesar 120 cm. Maka dapat ditentukan volume sampah sebelum dilakukan pemadatan melalui persamaan.

$$V = \pi r^2 t$$

$$V = 3,14 \cdot 0,152 \text{ m}^2 \cdot 1,2 \text{ m}$$

$$V = 0,088 \text{ m}^3$$

Diketahui berat jenis sampah sebelum dipadatkan sebesar  $\pm 300 \text{ kg/m}^3$ . Maka berat sampah yang dibutuhkan sebesar.

$$W_s = \frac{m}{V}$$

$$300 \text{ kg/m}^3 = \frac{m}{0,088 \text{ m}^3}$$

$$m = 26,25 \text{ kg} \approx 30 \text{ kg}$$

Setelah mendapatkan massa sampah yang dibutuhkan untuk pengisian bioreaktor, dapat diketahui ketinggian akhir sampah setelah dikompaksi. Pada penelitian kali ini diharapkan sampah setelah dikompaksi memiliki berat jenis  $600 \text{ kg/m}^3$ . Sehingga persamaannya menjadi:

$$W_s = \frac{m}{V}$$

$$600 \text{ kg/m}^3 = \frac{30 \text{ kg}}{0,073 \text{ m}^2 \times t}$$

$$t = 68 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

Maka dapat ditentukan ketinggian akhir yang harus dicapai sampah agar mencapai berat jenis yang diinginkan adalah sebesar 70 cm. Maka selisih ketinggian yang harus dicapai setelah dilakukan proses pembebanan adalah:

$$\Delta H = H_0 - H_T$$

$$\Delta H = 120 \text{ cm} - 70 \text{ cm}$$

$$\Delta H = 50 \text{ cm}$$

#### 3.5.4 Penambahan Air dan Resirkulasi Lindi

Penambahan air dilakukan sebagai hujan artifisial dan juga untuk menstimulasikan produksi lindi dalam bioreaktor *landfill* (Bialoweic *et.al.*, 2011). Dalam menentukan penambahan air sebagai hujan artifisial, diperlukan data sekunder curah hujan yang terjadi di daerah pengambilan sampel dan tempat penelitian (Oncu *et.al.*, 2012). Curah hujan yang digunakan merupakan curah hujan tahunan tertinggi.

Data curah hujan yang diperoleh dari Laboratorium Hidrolika, Hidrologi, dan Sungai Fakultas Teknik, Universitas Indonesia dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Data Curah Hujan di Stasiun Pengamatan Fakultas Teknik  
Universitas Indonesia

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jumlah
2003	172	406	333	164	172	17.5	5.5	22	34.5	171	433	293	2223.5
2004	343	386	185	428	232	66.5	126	12	23.5	132	396	326	2656
2005	453	348	427	116	143	355	193	350	82.8	218	144	137	2966.8
2006	338	276	252	283	180	81.5	41.5	22.7	10	52.7	139	357	2033.4
2007	250	824	202	326	122	136	17	85.8	83	227	258	492	3022.8
2008	203	469	256	267	185	91	19.3	108	145	191	511	341	2786.3
2009	263	307	534	295	417	195	173	27.7	103	414	317	227	3272.7
2010	210	453	417	88.1	274	162	159	361	580	673	284	167	3828.1
2011	195	267	316	232	256	85.8	190	40.5	149	314	214	319	2578.3
2012	286	321	211	209	273	162	156	10.1	38.4	140	530	464	2800.5

Sumber: Laboratorium Hidrolika, Hidrologi, dan Sungai Universitas Indonesia (2013)

Dari data diatas dipilih tahun 2010 sebagai tahun dengan curah hujan tahunan tertinggi dengan curah hujan 3828.1 mm/tahun atau 0,11 dm/hari. Selanjutnya memperhitungkan debit yang masuk kedalam bioreaktor, dapat dihitung dengan persamaan.

$$\text{Debit hujan} = \text{Curah hujan} \times \text{Fluks hujan} (A_{\text{reaktor}})$$

$$\text{Debit hujan} = \text{Curah hujan} \times \pi r^2$$

$$\text{Debit hujan} = 0,11 \text{ dm/hari} \times 3,14 \cdot (1,5 \text{ dm})^2$$

$$\text{Debit hujan} = 0,78 \text{ dm}^3/\text{hari}$$

Setelah mendapatkan nilai debit yang masuk ke dalam bioreaktor. Selanjutnya memperhitungkan jumlah debit yang terperkolasi ke dalam lapisan sampah. Persentase debit yang terperkolasi sebesar 24% (Peggs, 2009). Hasil perhitungan ini akan digunakan sebagai volume air yang akan ditambahkan ke bioreaktor sebagai simulasi hujan.

$$V_{\text{Penambahan Air}} = \text{Debit Hujan} \times 24\%$$

$$V_{\text{Penambahan Air}} = 0,78 \text{ dm}^3/\text{hari} \times 24\%$$

$$V_{\text{Penambahan Air}} = 0,2 \text{ dm}^3/\text{hari} \approx 200 \text{ mL/hari}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan volume air yang ditambahkan ke bioreaktor sebesar 200 mL/hari. Perlakuan penambahan air dilakukan selama penelitian berlangsung yaitu 150 hari (He *et.al.*, 2006). Sedangkan waktu resirkulasi lindi disesuaikan.

### 3.5.5 Laju Aerasi

Pada penelitian kali ini terdapat dua reaktor dengan perlakuan yang berbeda. Salah satunya diberi perlakuan aerasi dan yang lainnya tidak. Pada bioreaktor yang diberi perlakuan aerasi (aerobik), ditambahkan udara yang dipompa oleh kompresor yang beroperasi selama hari kerja (Senin-Jumat). Dalam menentukan laju aerasi yang dibutuhkan digunakan persamaan. Pada kompresor yang tersedia di Laboratorium Teknik Penyehatan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, laju aerasinya sebesar 8 liter/menit. Karena massa sampah yang dimasukkan ke dalam bioreaktor sebanyak 30 kg. Maka kapasitas aerasi yang dibutuhkan sesuai dengan persamaan.

$$\text{Kapasitas aerasi} = \frac{\text{Laju Aerasi Kompresor}}{\text{Massa Sampah}}$$

$$\text{Kapasitas aerasi} = \frac{8 \text{ liter/menit}}{30 \text{ kg}}$$

$$\text{Kapasitas aerasi} = 0,27 \text{ liter/menit} - \text{kg}$$

Rentang laju aerasi pada bioreaktor berkisar antara 0,0002-1,33 liter/menit-kg sampah (Johnson *et.al.*, 2006). Sehingga kapasitas aerasi yang ditentukan sesuai dengan rentang. Pada kondisi ini, digunakan *flowmeter* untuk mengatur laju aerasi kompresor karena laju aerasi kompresor lebih besar daripada kapasitas aerasi desain. Namun karena keterbatasan *flowmeter* yang tidak bisa mengatur laju aerasi

kompresor kurang dari 1 liter/menit-kg. Maka laju aerasi yang digunakan dalam penelitian sebesar 1 liter/menit-kg. Nilai ini masih berada pada rentang yang ditetapkan di literatur.

Aerasi dilakukan pada hari kerja (Senin-Jumat) dan dilakukan dengan intermiten selama 1 jam per-hari. Aerasi yang dilakukan tidak berlangsung selama 24 jam per-hari karena dapat meningkatkan laju perkembangan bakteri penitrifikasi yang berada di bagian tengah dan atas dari sampah yang ada di dalam bioreaktor (He *et.al.*, 2006).

### 3.5.6 Instrumen Pengujian Parameter Penelitian

#### a. *Fixed Probe Digital Thermometer*

Termometer digital jenis *fixed probe digital thermometer* ini merupakan instrumen penelitian yang digunakan untuk mengukur temperatur sampah pada masing-masing lubang pengambilan sampel pada bioreaktor. Termometer digital yang digunakan memiliki ketelitian satu angka dibelakang koma.

#### b. pH meter

pH meter merupakan instrumen penelitian yang digunakan untuk mengukur derajat keasaman lindi yang dihasilkan dari proses dekomposisi sampah. pH meter yang digunakan memiliki ketelitian satu angka dibelakang koma.

#### c. DO meter

DO meter merupakan instrumen penelitian yang digunakan untuk mengukur konsentrasi oksigen terlarut (mg/l) pada lindi yang dihasilkan dari proses dekomposisi sampah. DO meter yang digunakan memiliki ketelitian satu angka dibelakang koma.

#### d. Spektrofotometer DR-5000

Spektrofotometer merupakan instrumen penelitian yang digunakan untuk mengukur konsentrasi senyawa berdasarkan panjang gelombang dengan satuan

mg/l. Spektrofotometer DR-5000 Hach™ merupakan perkembangan dari jenis-jenis spektrofotometer sebelumnya dimana pada jenis ini tidak perlu dilakukan penyesuaian gelombang karena spektrofotometer ini dapat menyesuaikan panjang gelombang secara otomatis. Pada penelitian ini spektrofotometer DR-5000 Hach™ digunakan untuk pengujian parameter amonia, nitrat, dan nitrit. Beberapa gambar instrumen pengujian parameter pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Instrumen Pengujian Parameter

Spektrofotometer DR-5000 (kanan), pH meter (tengah), dan *fixed probe thermometer* (kiri)

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

### 3.6 Populasi Penelitian

Populasi yang digunakan sebagai objek/bahan penelitian adalah sampah rumah tangga. Sampah rumah tangga yang digunakan pada penelitian ini berasal dari UPS Lenteng Agung, Kecamatan Jagakarsa, Jakarta Selatan. Sampah diambil pada saat hari ke-0 pengoperasian bioreaktor *landfill* karena pada penelitian ini digunakan sampah segar.

Sampah yang digunakan memiliki komposisi 70% organik dan 30% anorganik (Fu *et.al.*, 2009). Adapun yang termasuk sampah organik yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sampah makanan dan sampah kebun. Sedangkan sampah anorganik yang digunakan pada penelitian ini adalah kertas, plastik, kaca, kayu, kulit, karet, dan logam. Sampah-sampah tersebut dicacah hingga berukuran  $\pm 5$  cm. Khusus untuk sampah logam dan kaca yang memiliki ukuran lebih dari 5 cm,

sampah tersebut akan disortir dan tidak dimasukkan dalam bioreaktor. Hal ini dikarenakan sulit untuk mencacah sampah dengan jenis dan ukuran tersebut.

### 3.7 Analisis Data

#### 3.7.1 Distribusi $t$ Independen

Uji statistik yang digunakan untuk menentukan signifikansi pengaruh aerasi terhadap stabilisasi sampah dan penyisihan amonia pada penelitian kali ini adalah distribusi  $t$  independen dengan dua ujung. Uji statistik ini diterapkan pada penelitian kali ini karena masing-masing sistem dalam hal ini bioreaktor landfill memiliki konfigurasi yang berbeda (sistem independen). Pada sistem independen, untuk menguji signifikansi perbedaannya dapat di uji dengan distribusi  $t$  (Berthouex dan Brown, 2002).

Tahap pertama adalah menghitung nilai perbedaan dengan persamaan:

$$E(\hat{y}_1 - \hat{y}_2) = \eta_1 - \eta_2$$

dimana:

$\eta$  : rata-rata

Selanjutnya menentukan varian dengan persamaan:

$$V(\hat{y}_1) = \frac{\sigma_1^2}{n_1}$$

dan

$$V(\hat{y}_2) = \frac{\sigma_2^2}{n_2}$$

dimana:

$\sigma^2$  : varian

$n$  : jumlah sampel yang digunakan

Selanjutnya menjumlahkan keduanya untuk mengetahui varian keduanya:

$$V(\hat{y}_1 - \hat{y}_2) = \frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$$

Namun apabila varian  $\sigma^2$  keduanya tidak diketahui dapat menggunakan persamaan:

$$s_1^2 = \frac{\sum(\hat{y}_{1i} - \hat{y}_1)^2}{n_1 - 1}$$

dan

$$s_2^2 = \frac{\sum(\hat{y}_{2i} - \hat{y}_2)^2}{n_2 - 1}$$

Kemudian kedua varian diatas digabungkan sehingga menghasilkan gabungan estimasi varian dengan persamaan:

$$s_{pool}^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Setelah itu perlu dihitung estimasi perbedaan dari varian dengan persamaan:

$$V(\hat{y}_1 - \hat{y}_2) = \frac{s_{pool}^2}{n_1} + \frac{s_{pool}^2}{n_2}$$

$$V(\hat{y}_1 - \hat{y}_2) = s_{pool}^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)$$

Lalu menghitung standar error dengan persamaan:

$$s(\hat{y}_1 - \hat{y}_2) = \sqrt{\frac{s_{pool}^2}{n_1} + \frac{s_{pool}^2}{n_2}}$$

$$s(\hat{y}_1 - \hat{y}_2) = s_{pool}^2 \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

Terakhir menghitung interval tingkat kepercayaan, interval tingkat kepercayaan diperoleh dari hasil kali standar error dan nilai  $\alpha$  distribusi  $t$  dua ujung. Nilai  $\alpha$  dipengaruhi juga oleh tingkat kepercayaan, tingkat kepercayaan yang digunakan dalam pengujian ini adalah 90% sesuai dengan literatur-literatur yang didapat (Bialoweic *et.al.*, 2011; He *et.al.*, 2006).

### 3.7.2 Efisiensi Penyisihan Amonia

Pengolahan data efisiensi penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill* ini menggunakan perhitungan penyisihan amonia pada *lysimeter* arus vertikal (Bialoweic *et.al.*, 2011).

Tahap pertama adalah menghitung massa nitrogen yang dihasilkan selama satu hari dengan persamaan:

$$Q_{Nx} = C \times V_{lindi}$$

dimana:

$Q_{NX}$  : massa zat nitrogen (mg/hari)

$C$  : konsentrasi nitrogen (mg/L)

$V_{lindi}$  : volume lindi (mL/hari)

Selanjutnya mencari total massa nitrogen kumulasi dari amonia, nitrit, nitrat, dan nitrogen yang hilang.

$$Q_{Ntotal} = Q_{eNH_3} + Q_{eNO_3} + Q_{eNO_2} + Q_{lost}$$

dimana:

$Q_{Ntotal}$  : massa nitrogen total (mg/hari)

$Q_{eNH_3}$  : massa nitrogen amonia (mg/hari)

$Q_{eNO_3}$  : massa nitrogen nitrat (mg/hari)

$Q_{eNO_2}$  : massa nitrogen nitrit (mg/hari)

$Q_{lost}$  : massa zat nitrogen yang hilang (mg/hari)

Kemudian menghitung laju penyisihan massa amonia dan *nitrogen loading rate* (NLR) dengan persamaan:

$$R_x = \frac{(Q_{N_{total}} - Q_{NH_3})}{Au}$$

dan

$$NLR = \frac{Q_{N_{total}}}{Au}$$

dimana:

$R_x$  : laju penyisihan massa amonia ( $\text{mgNH}_3/\text{m}^2$  - hari)

NLR : *nitrogen loading rate* ( $\text{mgN}_{total}/\text{m}^2$  - hari)

$Q_{N_{total}}$  : massa nitrogen total (mg/hari)

$Q_{NH_3}$  : massa nitrogen amonia (mg/hari)

Au : luas permukaan bioreaktor ( $\text{m}^2$ )

Terakhir menghitung efisiensi penyisihan amonia, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{R_x - 100}{NLR}$$

dimana:

$\mu$  : efisiensi penyisihan amonia (%)

$R_x$  : laju penyisihan massa amonia ( $\text{mgNH}_3/\text{m}^2$  - hari)

NLR : *nitrogen loading rate* ( $\text{mgN}_{total}/\text{m}^2$  - hari)

### 3.8 Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.8.1 Tempat Penelitian

Tempat-tempat yang digunakan selama tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Tempat Pengolahan Sementara (TPS) Lenteng Agung, Jagakarsa, Jakarta Selatan, sebagai lokasi pengambilan sampel sampah.
- b. Unit Pengolahan Sementara (UPS) Fakultas Teknik, Universitas Indonesia sebagai lokasi pemilahan dan pencacahan sampah.
- c. Ruangan yang berada di lantai 4 Gedung Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, sebagai lokasi reaktor dioperasikan, serta tempat pengukuran parameter pH, temperatur, volume lindi yang terbentuk, dan penurunan volume sampah.
- d. Laboratorium Teknik Penyehatan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia sebagai lokasi pengujian parameter kadar air, rasio C:N, DO, BOD, amonia, nitrit, dan nitrat.

#### 3.8.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian berlangsung selama 150 hari (Re *et.al.*, 2006). Waktu yang dialokasikan untuk setiap satuan kegiatan penelitian mulai dari pra-penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Alur Kegiatan Penelitian

Keterangan	Desember																														
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31														
<b>Pra Penelitian</b>																															
Pengukuran Berat Jenis Sampah	■																														
Pengukuran Kadar Air Sampah	■																														
Pengukuran <i>ultimate analysis</i> sampah	■																														
Pengambilan Sampel	■																														
Pencacahan Sampel	■																														
Persiapan Material Pengisi Reaktor	■																														
<b>Penelitian</b>																															
Pengisian Sampah Ke Dalam Reaktor	■																														
Perlakuan Resirkulasi Air Lindi		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
Penambahan Air		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
Perlakuan Aerasi Pada Sistem																															
Pengukuran Parameter Pengujian																															
- pH		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Temperatur		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- DO		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- COD		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- BOD		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Amonia		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Nitrit		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Nitrat		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Rasio C/N		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- TSS dan VSS		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Parameter Gas		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Parameter Logam Berat		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Volume Air Lindi		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
- Pengukuran Kadar Air	■																														

Keterangan	Januari																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>Pra Penelitian</b>																																
Pengukuran Berat Jenis Sampah																																
Pengukuran Kadar Air Sampah																																
Pengukuran <i>ultimate analysis</i> sampah																																
Pengambilan Sampel																																
Pencacahan Sampel																																
Persiapan Material Pengisi Reaktor																																
<b>Penelitian</b>																																
Pengisian Sampah Ke Dalam Reaktor																																
Perlakuan Resirkulasi Air Lindi																																
Penambahan Air																																
Perlakuan Aerasi Pada Sistem																																
Pengukuran Parameter Pengujian																																
- pH																																
- Temperatur																																
- DO																																
- COD																																
- BOD																																
- Amonia																																
- Nitrit																																
- Nitrat																																
- Rasio C/N																																
- TSS dan VSS																																
- Parameter Gas																																
- Parameter Logam Berat																																
- Volume Air Lindi																																
- Pengukuran Kadar Air																																

Keterangan	Februari																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
<b>Pra Penelitian</b>																												
Pengukuran Berat Jenis Sampah																												
Pengukuran Kadar Air Sampah																												
Pengukuran <i>ultimate analysis</i> sampah																												
Pengambilan Sampel																												
Pencacahan Sampel																												
Persiapan Material Pengisi Reaktor																												
<b>Penelitian</b>																												
Pengisian Sampah Ke Dalam Reaktor																												
Perlakuan Resirkulasi Air Lindi																												
Penambahan Air																												
Perlakuan Aerasi Pada Sistem																												
Pengukuran Parameter Pengujian																												
- pH																												
- Temperatur																												
- DO																												
- COD																												
- BOD																												
- Amonia																												
- Nitrit																												
- Nitrat																												
- Rasio C/N																												
- TSS dan VSS																												
- Parameter Gas																												
- Parameter Logam Berat																												
- Volume Air Lindi																												
- Pengukuran Kadar Air																												

Keterangan	Maret																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>Pra Penelitian</b>																															
Pengukuran Berat Jenis Sampah																															
Pengukuran Kadar Air Sampah																															
Pengukuran <i>ultimate analysis</i> sampah																															
Pengambilan Sampel																															
Pencacahan Sampel																															
Persiapan Material Pengisi Reaktor																															
<b>Penelitian</b>																															
Pengisian Sampah Ke Dalam Reaktor																															
Perlakuan Resirkulasi Air Lindi																															
Penambahan Air																															
Perlakuan Aerasi Pada Sistem																															
Pengukuran Parameter Pengujian																															
- pH																															
- Temperatur																															
- DO																															
- COD																															
- BOD																															
- Amonia																															
- Nitrit																															
- Nitrat																															
- Rasio C/N																															
- TSS dan VSS																															
- Parameter Gas																															
- Parameter Logam Berat																															
- Volume Air Lindi																															
- Pengukuran Kadar Air																															

Keterangan	April																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Pra Penelitian</b>																														
Pengukuran Berat Jenis Sampah																														
Pengukuran Kadar Air Sampah																														
Pengukuran <i>ultimate analysis</i> sampah																														
Pengambilan Sampel																														
Pencacahan Sampel																														
Persiapan Material Pengisi Reaktor																														
<b>Penelitian</b>																														
Pengisian Sampah Ke Dalam Reaktor																														
Perlakuan Resirkulasi Air Lindi																														
Penambahan Air																														
Perlakuan Aerasi Pada Sistem																														
Pengukuran Parameter Pengujian																														
- pH																														
- Temperatur																														
- DO																														
- COD																														
- BOD																														
- Amonia																														
- Nitrit																														
- Nitrat																														
- Rasio C/N																														
- TSS dan VSS																														
- Parameter Gas																														
- Parameter Logam Berat																														
- Volume Air Lindi																														
- Pengukuran Kadar Air																														

Keterangan	Mei													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Pra Penelitian</b>														
Pengukuran Berat Jenis Sampah														
Pengukuran Kadar Air Sampah														
Pengukuran <i>ultimate analysis</i> sampah														
Pengambilan Sampel														
Pencacahan Sampel														
Persiapan Material Pengisi Reaktor														
<b>Penelitian</b>														
Pengisian Sampah Ke Dalam Reaktor														
Perlakuan Resirkulasi Air Lindi														
Penambahan Air														
Perlakuan Aerasi Pada Sistem														
Pengukuran Parameter Pengujian														
- pH														
- Temperatur														
- DO														
- COD														
- BOD														
- Amonia														
- Nitrit														
- Nitrat														
- Rasio C/N														
- TSS dan VSS														
- Parameter Gas														
- Parameter Logam Berat														
- Volume Air Lindi														
- Pengukuran Kadar Air														

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2014)

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengoperasian Bioreaktor *Landfill*

Sampah rumah tangga yang digunakan pada penelitian ini berasal dari UPS Lenteng Agung, Kecamatan Jagakarsa, Jakarta Selatan, dapat dilihat pada Gambar 4.1. Sampah yang diolah di UPS ini merupakan sampah yang dikumpulkan dari daerah pemukiman di kecamatan Jagakarsa, khususnya daerah yang berada di sekitar kelurahan Lenteng Agung. Sampah diambil dari lokasi pengambilan sampel pada pagi hari, hal ini dilakukan untuk menjaga agar sampah yang digunakan masih dalam keadaan segar. Sampah yang digunakan adalah sampah yang belum diolah atau dipilah di UPS Lenteng Agung, hal ini dilakukan agar sampel sampah yang digunakan dalam penelitian menggambarkan karakteristik sampah rumah tangga yang sebenarnya.



Gambar 4. 1 Sampel Sampah UPS Lenteng Agung

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Sampah yang akan digunakan untuk mengisi bioreaktor *landfill* kemudian dicacah hingga berukuran  $\pm 5$  cm. Pencacahan dilakukan untuk memudahkan proses pengisian sampah ke bioreaktor *landfill*. Proses pencacahan ini dilaksanakan di Unit Pengolahan Sementara (UPS) Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, proses pencacahan sampah dapat dilihat pada Gambar 4.2. Komposisi sampah yang akan digunakan sebagai sampel penelitian terdiri dari jenis sampah organik dan anorganik. Secara deskriptif, sampah organik yang diambil sebagai sampel terdiri dari sisa makanan, sisa bahan makanan yang tidak diolah dalam

proses memasak, daun-daun untuk membungkus makanan, dan sampah pekarangan. Sampah anorganik didominasi oleh plastik kemasan, plastik bening, dan kertas.



Gambar 4. 2 Proses Pencacahan Sampah

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Setelah sampah dicacah, dilakukan pengisian sampel sampah ke bioreaktor *landfill*, proses pengisian sampel sampah dapat dilihat pada Gambar 4.3. Bioreaktor *landfill* berada di salah satu ruangan yang berada di lantai 4 Gedung Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia. Lokasi bioreaktor *landfill* dipilih di dalam ruangan untuk mempermudah pengecekan parameter dan menjaga bioreaktor *landfill* dari lingkungan luar. Pada penelitian ini reaktor dioperasikan dengan sistem *batch*, artinya sampel diisi selama satu kali tanpa adanya penambahan lapisan *landfill*. Sesuai perhitungan di Bab 3, masing-masing reaktor diisi dengan sampah yang telah dicacah dengan berat sampah sebesar 30 kg untuk mencapai ketinggian sampah 120 cm. Masing-masing bioreaktor *landfill* diisi dengan komposisi sampah yang sama, yakni 70% organik dan 30% anorganik (Fu *et.al.*, 2009). Agar dapat dipastikan setiap bioreaktor *landfill* memiliki komposisi sampah yang serupa, maka sampah yang telah dicacah yang terdapat di masing-masing *trash bag* dihomogenkan terlebih dahulu. Pada proses pengisiannya,

setengah bagian *trash bag* dimasukkan ke reaktor satu dan yang setengah sisanya dimasukkan ke reaktor dua.



Gambar 4. 3 Proses Pengisian Sampah ke Bioreaktor *Landfill*

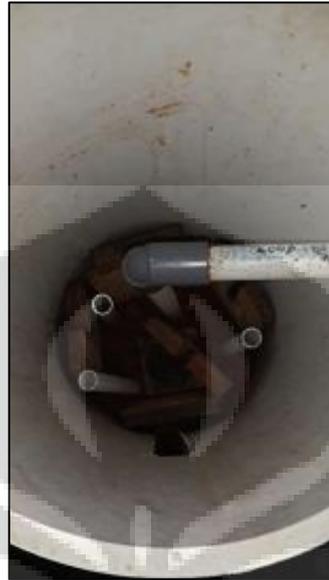
Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Setelah memasukkan sampel sampah ke masing-masing bioreaktor *landfill*, didapatkan dua jenis reaktor dengan kondisi yang identik dengan perbedaan perlakuan:

- a. Pada reaktor pertama (R1) diberi perlakuan resirkulasi lindi, penambahan air sebagai hujan artifisial, dan aerasi dengan laju aerasi 1 liter/menit-kg.
- b. Pada reaktor kedua (R2) diberi perlakuan resirkulasi lindi, penambahan air sebagai hujan artifisial, tetapi tidak diberikan perlakuan aerasi.

Kemudian dilakukan proses pemadatan sampah, pemadatan sampah dilakukan untuk mengkondisikan berat jenis sampah yang berada di bioreaktor *landfill* sama seperti berat jenis sampah di *landfill* sebenarnya. Menurut Tchobanoglous *et.al.* (1993), berat jenis sampah di *landfill* berkisar antara 500 kg/m<sup>3</sup> hingga 700 kg/m<sup>3</sup>. Pada penelitian kali ini, ditentukan berat jenis sampah pada bioreaktor *landfill* sebesar 500 kg/m<sup>3</sup>. Pemadatan dilakukan dengan cara meletakkan beban diatas lapisan tanah penutup *landfill*. Berat beban yang

dibebankan di masing-masing reaktor adalah 25 kg dan dilakukan selama 24 jam. Proses pemadatan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Pemadatan dengan Pembebanan pada Tanah Penutup

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Pada Tabel 4.1, ketinggian sampah awal sebesar pada reaktor R1 sebelum pemadatan sebesar 115 cm, sedangkan pada reaktor R2 ketinggian sampah awal 120 cm. Setelah pembebanan, diperoleh masing-masing berat jenis sampah untuk R1 sebesar  $506.66 \text{ kg/m}^3$  dan R2 sebesar  $498.31 \text{ kg/m}^3$ . Pada awal proses perancangan diharapkan kedua bioreaktor *landfill* memiliki berat jenis sebesar  $600 \text{ kg/m}^3$  setelah dikompaksi, namun setelah dilakukan pembebanan berat jenis kedua bioreaktor berkisar pada  $500 \text{ kg/m}^3$ . Perbedaan berat jenis antara perancangan dan proses pemadatan di lapangan ini dikarenakan kurangnya berat beban yang dibebankan pada bioreaktor *landfill* dan waktu pembebanan yang kurang lama. Namun secara teoritis, berat jenis sampah setelah pemadatan pada kedua bioreaktor *landfill* ini tidak terlampaui berbeda dengan berat jenis minimum literatur yaitu  $500 \text{ kg/m}^3$  (Tchobanoglous *et.al.*, 1993).

Tabel 4. 1 Pemadatan Sampah

Tahap		h (cm)	V (m <sup>3</sup> )	m (kg)	Ws (kg/m <sup>3</sup> )
Perancangan		120	0.088	30	340
Sebelum Pemadatan	R1	115	0.083	29.40	352.46
	R2	120	0.087	30.00	344.67
Sesudah Pemadatan	R1	80	0.058	29.40	506.66
	R2	83	0.060	30.00	498.31

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Tahap selanjutnya dari awal pengoperasian bioreaktor *landfill* adalah pemeriksaan parameter awal dari sampah yang belum diolah pada bioreaktor *landfill*. Pemeriksaan karakteristik fisika dan kimia awal sampah sangat penting untuk mengetahui kemampuan stabilisasi sampah setelah diolah pada bioreaktor *landfill*. Karakteristik awal sampel sampah dapat dilihat di Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Karakteristik Awal Sampah

Parameter	Satuan	Nilai
Kadar Air	%	62.06
Temperatur	°C	31.4 - 31.9
C	%	29.27
N	%	3.13
Rasio C:N		9.35

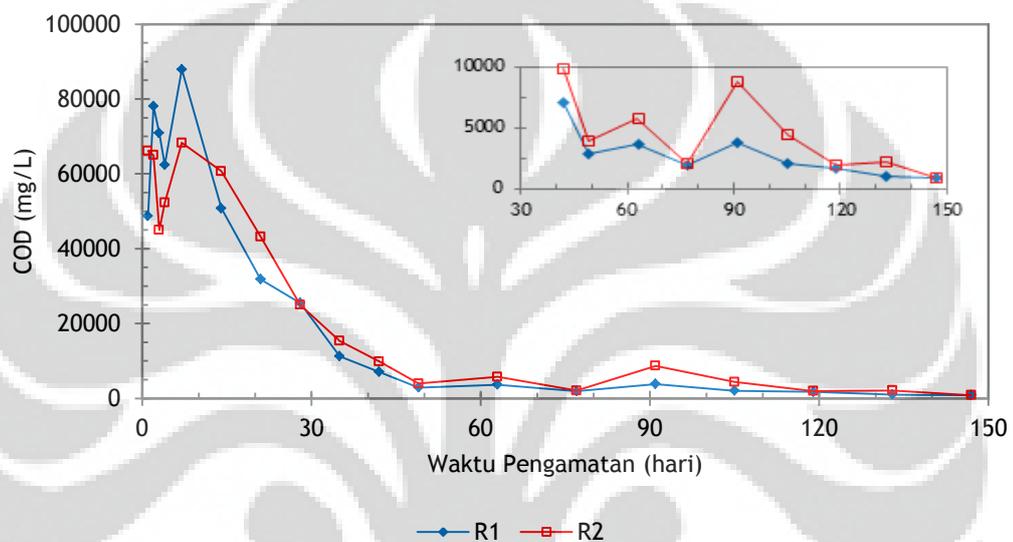
Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

## 4.2 Karakteristik Lindi

### 4.2.1 COD

Perubahan konsentrasi COD untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.5, detail pada konsentrasi COD pada hari ke-34 hingga ke-150 dapat dilihat di pojok kanan atas gambar. Seperti yang terlihat pada gambar, tidak terdapat perbedaan signifikan dari konsentrasi COD untuk masing-masing reaktor. Penurunan konsentrasi COD pada kedua jenis reaktor dimulai dari hari ke-7 hingga hari ke-49. Pada R1 konsentrasi COD Pada hari ke-7 sebesar 87.900 mg/L kemudian turun hingga 2.880 mg/L pada hari ke-49. Sedangkan pada R2 konsentrasi COD Pada hari ke-7 sebesar 68.300 mg/L kemudian turun hingga 3.960 mg/L pada hari ke-49. Penurunan konsentrasi COD ini mengindikasikan

terjadinya konversi material organik atau dekomposisi yang ada di dalam lindi menjadi gas karbondioksida dan metana (He *et.al.*, 2006). Pada awal proses pengoperasian bioreaktor *landfill*, konsentrasi COD lindi pada R1 lebih besar dibandingkan R2. Sehingga dapat dikatakan persentase penurunan COD pada R1 lebih besar dibandingkan R2. Hal ini sesuai dengan Pinjing *et.al.* (2011), dimana pengaruh aerasi yang diberikan ke bioreaktor *landfill* akan mempercepat penurunan konsentrasi COD dibandingkan dengan kondisi anaerobik.



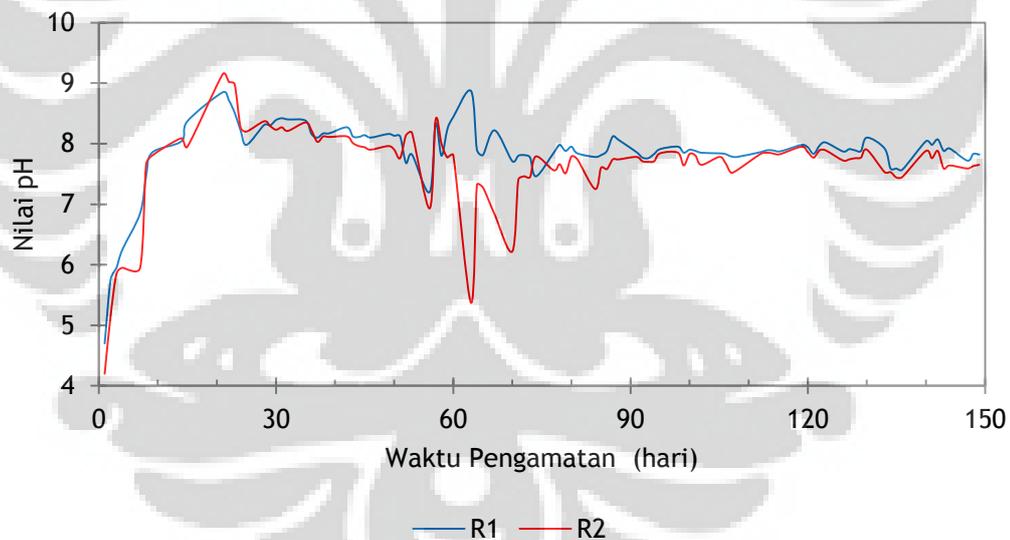
Gambar 4. 5 Konsentrasi COD

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Dimulai hari ke-49, konsentrasi COD pada R1 berkisar antara 852 mg/L hingga 3.820 mg/L, sedangkan konsentrasi COD pada R2 berkisar antara 846 mg hingga 8.700 mg/L. Apabila dibandingkan dengan konsentrasi COD sebelumnya yang mencapai 68.300 mg/L hingga 87.900 mg/L, konsentrasi COD pada air lindi pada jangka waktu ini baik pada reaktor R1 maupun R2 telah stabil. Hal ini menunjukkan proses dekomposisi organik sampah telah berkurang. Pada saat persentase penurunan COD berkurang, maka akan terjadi stabilisasi konsentrasi parameter lindi atau sampah yang lain (Jokela *et.al.*, 2002).

#### 4.2.2 pH

Data pH untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.6. Seperti yang terlihat pada gambar, rata-rata nilai pH untuk kedua reaktor hampir sama yaitu berkisar 7,7. Pada awal pengoperasian bioreaktor *landfill*, nilai pH untuk R1 adalah 4,7 sedangkan nilai pH untuk R2 adalah 4,2, nilai ini mengindikasikan pada tahap awal bioreaktor *landfill* berada pada kondisi asam. Hal ini dapat disebabkan kondisi sampah yang digunakan sebagai sampel tidak segar karena adanya waktu tunggu sebelum pengangkutan dalam jangka waktu tertentu saat pewadahan. Hal ini sesuai dengan Damanhuri *et.al.* (2010), selama pewadahan akan terjadi proses biologis berupa aktivitas mikroorganisme yang ada di dalam sampah. Selain itu faktor lain yang menurunkan nilai pH sampah pada awal pengoperasian bioreaktor *landfill* adalah keberadaan zat organik terlarut dalam air pada sampah diantaranya glukosa, zat tepung, asam amino, dan beberapa jenis asam organik lainnya (Tchobanoglous *et.al.*, 1993).



Gambar 4. 6 Nilai pH

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

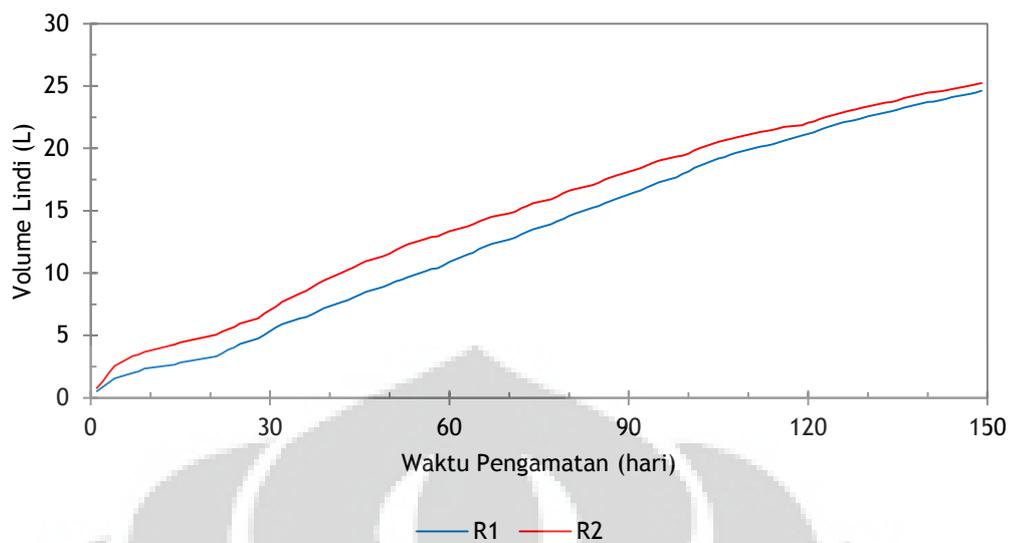
Selama hari ke-1 hingga hari ke-10, nilai pH pada R1 meningkat dari 4,7 ke 7,85, sedangkan nilai pH pada R2 meningkat pula dari 4,2 ke 7,8. Menurut He *et.al.* (2006) kenaikan nilai pH akan berpengaruh pada aktivitas

mikroorganisme terhadap dekomposisi organik dengan indikasi lain yaitu penurunan konsentrasi COD pada lindi.

Pada hari ke-63 dan ke-70, nilai pH pada R2 turun signifikan menjadi 5,37 dan 6,22. Penurunan pH ini dipengaruhi oleh konsentrasi COD pada lindi. Peningkatan konsentrasi COD pada reaktor R2 dapat dilihat pada Gambar 4.4. Kenaikan konsentrasi COD ini mengindikasikan terjadi proses fermentasi pada sampah dimana sebagian besar sampel sampah mengandung material organik. Selama proses dekomposisi, bahan organik sampah yang terkandung dalam sampah cenderung bersifat asam. Kondisi asam pada sampah ini mengakibatkan nilai pH turun signifikan pada jangka waktu tersebut. Nilai pH asam juga dipengaruhi oleh perlakuan resirkulasi lindi. Menurut Price *et.al.* (2003) resirkulasi lindi secara simultan selama proses penelitian akan menurunkan nilai pH, nilai pH yang asam dapat menjadi inhibitor dari produksi gas metana pada kondisi anaerobik.

#### 4.2.3 Volume Lindi

Volume lindi untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.7. Seperti yang terlihat pada gambar, akumulasi volume lindi R1 lebih besar dibandingkan R2. Perbedaan volume lindi cukup besar terlihat pada hari ke-1 dan ke-21. Pada hari ke-1 volume lindi pada R1 sebesar 525 mL dan R2 sebesar 770 mL, sedangkan pada hari ke-21 volume lindi pada R1 sebesar 3.325 mL dan R2 sebesar 5.063 mL Hal ini sesuai dengan Fu *et.al.* (2009) dimana volume lindi yang dihasilkan menggambarkan terjadinya proses dekomposisi dalam sampah. Nilai volume lindi yang didapatkan pada penelitian ini juga dipengaruhi oleh resirkulasi lindi dan penambahan air sebagai hujan artifisial (Chan *et.al.*, 2002).



Gambar 4. 7 Kumulasi Volume Lindi

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

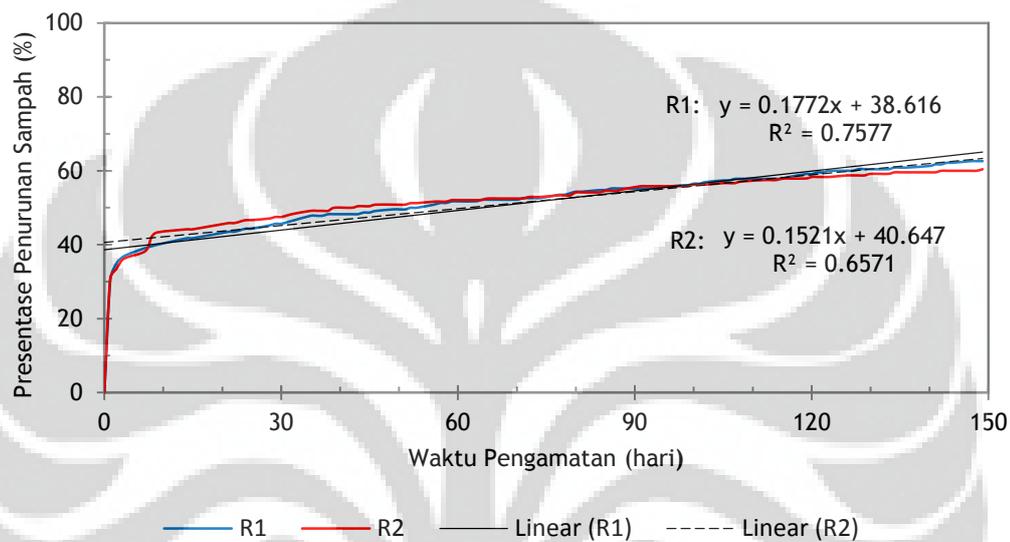
### 4.3 Stabilisasi Sampah

#### 4.3.1 Penurunan Sampah

Pada penelitian ini penurunan sampah dipengaruhi oleh faktor fisik dan kimiawi dan biologis. Faktor fisik penurunan sampah dalam bioreaktor *landfill* dipengaruhi oleh proses pemadatan sampah yang dilakukan pada hari ke-0 penelitian. Sedangkan faktor kimiawi dan biologis sampah dipengaruhi oleh proses dekomposisi organik sampah oleh mikroorganisme yang terjadi selama pengoperasian bioreaktor.

Penurunan sampah untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.8. Pada awal pengoperasian bioreaktor *landfill*, pada hari ke-1 persentase penurunan sampah untuk masing-masing reaktor sangat besar (30,63% dari awal ketinggian). Hal ini disebabkan oleh proses pemadatan yang dilakukan pada hari ke-0. Pemadatan sampah merupakan salah satu proses transformasi fisik sampah yang berpengaruh kepada peningkatan densitas sampah dan penurunan volume sampah (Tchobanoglous *et.al.*, 1993). Pada hari ke-1 hingga hari ke-7, tingkat persentase penurunan sampah cukup besar, pada reaktor R1 persentase penurunan sampah pada 7 hari pengoperasian berkisar 0,87% hingga 4,35% dari ketinggian sampah per hari, sedangkan pada reaktor R2 berkisar 0,83% hingga 2,50% dari ketinggian sampah per hari. Pada saat yang sama terjadi penurunan

konsentrasi COD yang signifikan pada kedua bioreaktor *landfill*. Hal ini sesuai dengan He *et.al.* (2006) dan Johnson *et.al.* (2005) yang menyatakan bahwa salah satu faktor kimiawi dan biologis yang mempengaruhi dekomposisi organik adalah aktivitas mikroorganisme dalam sampah yang diindikasikan oleh penurunan konsentrasi COD lindi. Hal ini berpengaruh terhadap derajat penurunan volume sampah pada setiap bioreaktor *landfill*.



Gambar 4. 8 Persentase Penurunan Sampah

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Pada hari ke-60 pengoperasian bioreaktor *landfill*, penurunan volume sampah yang terjadi pada setiap reaktor tidak terlihat signifikan, dengan kata lain sampel sampah yang terdapat pada kedua bioreaktor telah mengalami stabilisasi. Hal tersebut mengindikasikan jumlah material organik dan kandungan karbon yang ada dalam sampah organik hanya sedikit yang didekomposisi dan terkonversi menjadi gas (Sponza *et.al.*, 2003). Faktor lain yang mempercepat stabilisasi sampah pada pengolahan limbah padat jenis bioreaktor *landfill* ini adalah resirkulasi lindi (Chan *et.al.*, 2002). Menurut San (2001) dengan diberikannya perlakuan resirkulasi lindi pada bioreaktor *landfill*, konsentrasi COD yang dikonversi menjadi gas metana akan lebih besar dibandingkan dengan bioreaktor *landfill* yang tidak diberikan perlakuan resirkulasi lindi.

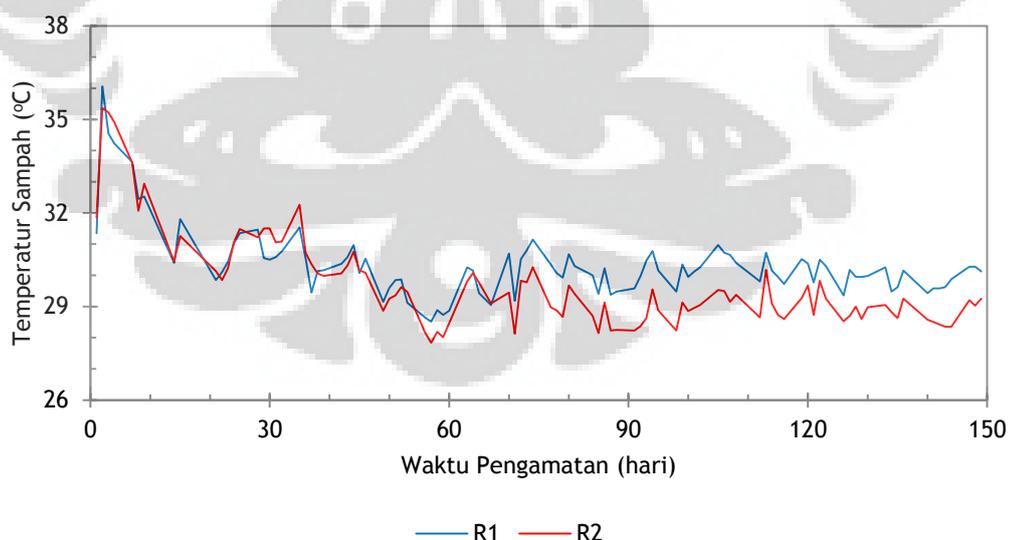
Aerasi yang diberikan tidak mempengaruhi tingkat penurunan sampah pada bioreaktor *landfill*. Persentase penurunan sampah untuk reaktor R1 pada hari ke-150 penelitian sebesar 62,61% dari ketinggian awal, sedangkan pada hari ke-150 penelitian persentase penurunan sampah untuk reaktor R2 sebesar 60,42% dari ketinggian awal. Pada Lampiran 11 dari hasil uji statistik *t* independen dua ujung dengan tingkat kepercayaan 90% (Berthouex dan Brown, 2002), terdapat interval 0 sehingga disimpulkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada penurunan sampah di reaktor R1 dan reaktor R2. Dengan kata lain penurunan sampah pada reaktor R1 dan R2 relatif tidak berbeda. Hal ini tidak sesuai dengan Borglin *et.al.*, 2004 dan Rich *et.al.*, 2007 dimana kondisi pH yang relatif sama, bioreaktor *landfill* aerobik akan lebih cepat stabil dan lebih mudah terdekomposisi dibandingkan bioreaktor *landfill* anaerobik. Dengan kata lain, penurunan ketinggian sampah pada bioreaktor *landfill* aerobik lebih besar dibandingkan bioreaktor *landfill* jenis anaerobik. Hal ini dikarenakan persentase penurunan COD dan amonia pada bioreaktor *landfill* aerobik lebih besar (Borglin *et.al.*, 2004; Rich *et.al.*, 2007).

Menurut He *et.al.* (2006) perlakuan aerasi dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisme aerob untuk mendekomposisi sampah menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, sehingga tingkat dekomposisi sampah pada bioreaktor *landfill* yang diberikan aerasi lebih besar dibandingkan dengan bioreaktor *landfill* yang tidak diberikan aerasi. Hal tersebut tidak sesuai dengan hasil yang didapatkan di penelitian. Hal ini disebabkan perbedaan metodologi yang diterapkan pada penelitian ini dan penelitian yang dilakukan oleh He *et.al.* (2006). Pada penelitian ini perlakuan aerasi dilakukan dengan cara mensuplai udara dari kompresor melalui pipa yang berada lapisan dasar sampah, sedangkan pada penelitian He *et.al.* (2006) perlakuan aerasi dilakukan dengan cara mengalirkan udara dari kompresor melalui pipa yang berada lapisan atas sampah. Lapisan atas sampah yang berdekatan dengan ambien udara merupakan tempat yang cocok untuk pertumbuhan bakteri pendekomposisi aerob (He *et.al.*, 2006).

#### 4.3.2 Temperatur Sampah

Temperatur awal sampah sesaat setelah dimasukkan ke dalam bioreaktor *landfill* (hari penelitian ke-0) berkisar antara 31,4°C hingga 31,9°C. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, kondisi sampah yang digunakan sebagai sampel tidak segar karena adanya waktu tunggu sebelum pengangkutan/saat pewardahan dalam jangka waktu tertentu sehingga terjadi proses biologis berupa aktivitas mikroorganisme yang ada di dalam sampah.

Temperatur sampah untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.9. Menurut Tchobanoglous (1993), temperatur optimum dalam proses mesofilik berkisar antara 20°C hingga 50°C dengan temperatur optimum 35°C. Seperti yang terlihat pada gambar, data temperatur tertinggi yang diamati terjadi pada hari ke-2 hingga hari ke-7 penelitian. Pada reaktor R1 temperatur pada hari ke-2 penelitian sebesar 36,1°C dan pada hari ke-7 penelitian sebesar 33,6°C. Sedangkan pada reaktor R2 temperatur pada hari ke-2 penelitian sebesar 35,4°C dan pada hari ke-7 penelitian sebesar 33,5°C. Didukung dengan nilai pH yang berkisar antara 4 hingga 6,5 pada jangka waktu ke-1 hingga ke-7 penelitian, dapat disimpulkan telah terjadi proses metabolisme anaerobik pada awal pengoperasian bioreaktor *landfill*.



Gambar 4. 9 Temperatur Sampah

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Setelah hari ke-35 penelitian hingga hari terakhir penelitian, terjadi fluktuasi kenaikan dan penurunan temperatur sampah pada masing-masing reaktor yang tidak berbeda jauh yakni berkisar antara 28,5°C hingga 31°C untuk reaktor R1 dan antara 27,8°C hingga 30,8°C untuk reaktor R2. Hal ini sebanding dengan persentase penurunan sampah tidak berbeda jauh setelah hari ke-35 pengoperasian bioreaktor *landfill* (0% hingga 0,87% dari ketinggian sampah per hari). Menurut Smidt *et.al.* (2005), penurunan sampah/penghilangan masa sampah sebanding dengan kenaikan temperatur sampah. Semakin optimum temperatur sampah, semakin besar derajat metabolisme yang terjadi di bioreaktor *landfill*. Menurut Tchobanoglous *et.al.*, (1993), setiap kenaikan 10°C menuju ke temperatur optimum, jumlah mikroorganisme dalam sampah akan bertambah dua kali lipat.

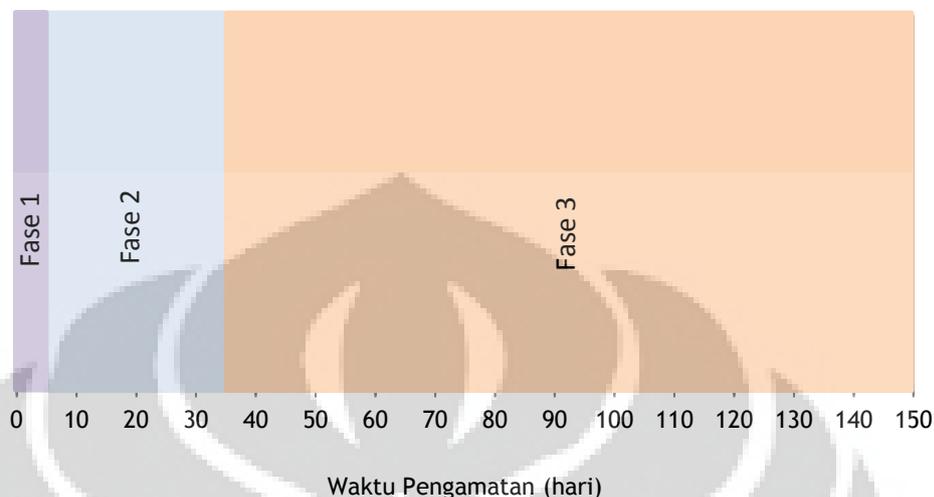
Rentang nilai temperatur pada masing-masing bioreaktor *landfill* yang dioperasikan biasanya tidak berbeda jauh dengan temperatur ruang rata-rata. Meskipun reaktor yang dibuat sedemikian rupa untuk menghalangi pengaruh temperatur di lingkungan, namun karena kecilnya rasio permukaan bioreaktor *landfill* dan massa sampah terhadap luas ruangan, bioreaktor *landfill* tak dapat menginsulasi panas yang ada di dalamnya (Borglin *et.al.*, 2004). Penambahan air hujan artifisial dan resirkulasi lindi juga mempengaruhi temperatur sampah pada bioreaktor *landfill*, temperatur air hujan artifisial dan lindi yang diresirkulasikan ke dalam bioreaktor akan mengurangi temperatur sampah.

#### **4.4 Pengaruh Aerasi & Resirkulasi Lindi Terhadap Konsentrasi Nitrogen Lindi**

Pada penelitian ini, pengaruh aerasi dan resirkulasi konsentrasi nitrogen lindi akan dibahas berdasarkan fase-fase perubahan parameter-parameter amonia, nitrit, dan nitrat terhadap konsentrasi COD, konsentrasi DO, nilai pH, volume lindi, dan temperatur sampah. Pembagian fase transformasi nitrogen pada penelitian ini adalah:

- a. Fase 1: Hari ke-0 hingga ke-7 penelitian
- b. Fase 2: Hari ke-7 hingga ke-35 penelitian
- c. Fase 3: hari ke-35 hingga ke-150 penelitian

Pembagian fase pembahasan transformasi nitrogen secara deskriptif dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Fase Transformasi Nitrogen dalam Penelitian

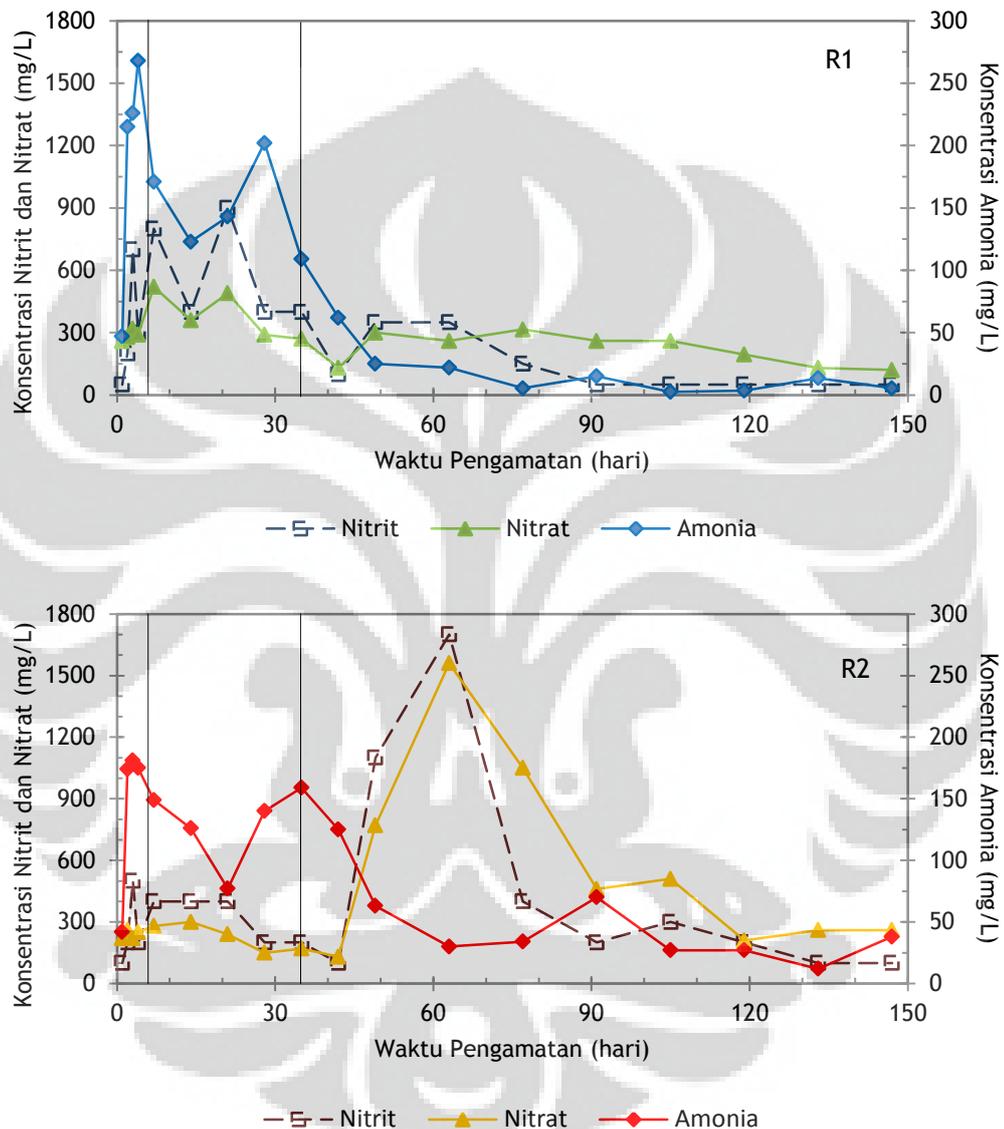
Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

#### 4.4.1 Transformasi Nitrogen pada Fase Pertama (hari ke-1 hingga ke-7)

Konsentrasi nitrogen untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.11. Pada hari ke-1 penelitian, konsentrasi amonia, nitrit, dan nitrat untuk masing-masing bioreaktor sangat kecil, hal ini dikarenakan konsentrasi lindi yang dihasilkan dari bioreaktor *landfill* tidak pekat dan masih sangat muda. Pada hari ke-1 penelitian, sebagian besar lindi yang dihasilkan bukan merupakan hasil dekomposisi organik sampah, melainkan air yang terkandung di dalam sampah yang terperkolasi secara gravitasional ke saluran pipa drainase lindi yang berada di bagian bawah bioreaktor *landfill*. Sehingga belum terjadi konversi material organik yang terkandung di dalam sampah.

Pada hari ke-2 hingga ke-4 penelitian, konsentrasi amonia, nitrit, dan nitrat untuk masing-masing bioreaktor *landfill* meningkat signifikan. Pada reaktor R1 konsentrasi amonia berkisar 215 mg/L hingga 268 mg/L, konsentrasi nitrit berkisar 200 mg/L hingga 700 mg/L, dan konsentrasi nitrat berkisar 280 mg/L hingga 320 mg/L. Sedangkan pada reaktor R2 konsentrasi amonia berkisar 174 mg/L hingga 181 mg/L, konsentrasi nitrit berkisar 200 mg/L hingga 500 mg/L,

dan konsentrasi nitrat berkisar 220 mg/L hingga 260 mg/L. Kenaikan konsentrasi nitrit dan nitrat mengindikasikan meningkatnya populasi mikroorganisme penitrifikasi (He *et.al.*, 2006). Indikasi ini menjelaskan sedang terjadi proses nitrifikasi pada bioreaktor *landfill*.

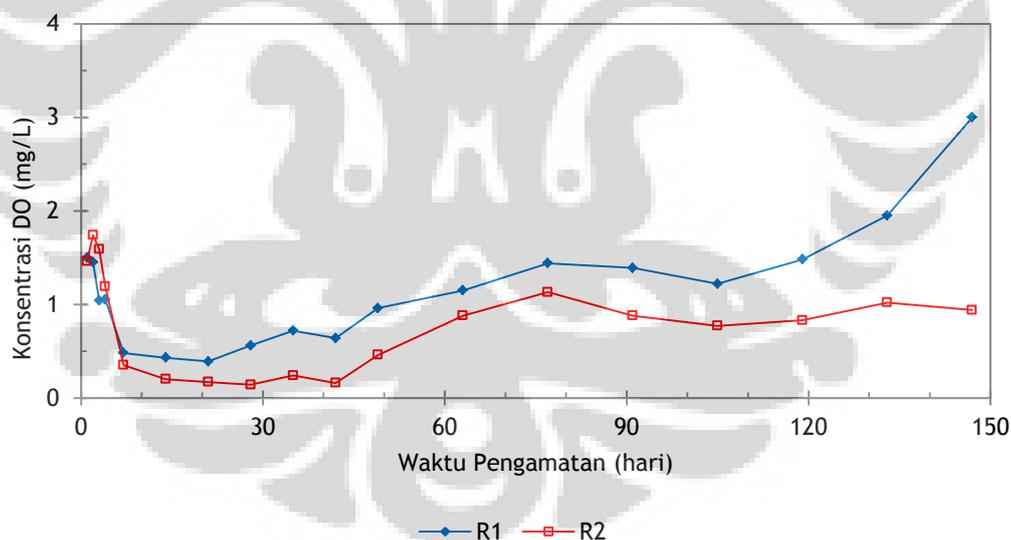


Gambar 4. 11 Konsentrasi Amonia, Nitrit, dan Nitrat

Reaktor R1 (atas) dan Reaktor R2 (bawah)

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Dalam penelitian ini terdapat dua jenis reaktor dengan kondisi yang identik kecuali perlakuan pada reaktor R1 diberi perlakuan aerasi dengan laju aerasi 1 liter/menit-kg, sedangkan pada reaktor R2 tidak diberikan perlakuan aerasi. Nitrifikasi adalah proses aerobik dimana prosesnya membutuhkan peran mikroorganisme aerob autotrofik untuk mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat. Seperti yang diketahui reaktor R2 tidak diberikan perlakuan aerasi dengan kata lain tidak terdapat suplai oksigen ke bioreaktor *landfill* tersebut. Namun proses nitrifikasi oleh mikroorganisme aerob autotrofik tetap terjadi pada awal pengoperasian karena dalam suatu sistem *landfill* anoksik terdapat konsentrasi oksigen dibawah 21% (Berge *et.al.*, 2006). Kandungan oksigen terlarut dalam lindi pada reaktor R2 dapat dilihat pada Gambar 4.12. Konsentrasi DO lindi pada reaktor R2 pada hari ke-2 hingga ke-4 penelitian berkisar antara 1,19 mg/L hingga 1,74 mg/L, menurut Sun *et.al.* (2012) pembentukan nitrat dalam nitrifikasi akan tetap berlangsung meskipun konsentrasi DO pada lindi bioreaktor *landfill* dibawah 1,2 mg/L.



Gambar 4. 12 Konsentrasi DO

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Pada hari ke-2 hingga ke-4 penelitian, konsentrasi COD pada kedua bioreaktor *landfill* turun. Pada reaktor R1 konsentrasi COD lindi berkurang dari 78.100 mg/L pada hari ke-2 menjadi 62.400 mg/L pada hari ke-4. Sedangkan pada

reaktor R2 konsentrasi COD lindi berkurang dari 65.000 mg/L pada hari ke-2 menjadi 52.300 mg/L pada hari ke-4. Pada proses nitrifikasi, penurunan konsentrasi COD menandakan terjadinya proses konversi amonia menjadi nitrit dan nitrat (Jokela *et.al.*, 2002, Fu *et.al.*, 2009).

Nilai pH lindi bioreaktor *landfill* pada penelitian hingga ke-4 dapat dikategorikan dalam keadaan asam. Pada reaktor R1 nilai pH lindi sebesar 6,25, sedangkan pada reaktor R2 nilai pH lindi sebesar 5,95. Menurut Tchobanoglous *et.al.* (1993) sebelum proses nitrifikasi, kadar alkalinitas pada lindi berkisar antara 1.000 hingga 10.000 mg/L CaCO<sub>3</sub>, saat proses nitrifikasi kadar alkalinitas yang ada di dalam lindi terdegradasi. Hal ini mempengaruhi tingkat keasaman lindi.

#### 4.4.2 Transformasi Nitrogen pada Fase Kedua (hari ke-7 hingga ke-35)

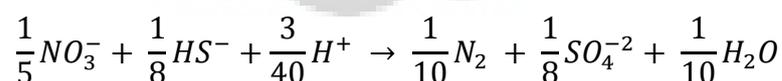
Pada hari ke-7 hingga ke-21 penelitian konsentrasi amonia, nitrit, dan nitrat untuk masing-masing bioreaktor bervariasi. Pada reaktor R1 konsentrasi amonia menurun dari 268 mg/L hingga 143 mg/L, konsentrasi nitrit berkisar 400 mg/L hingga 900 mg/L, dan konsentrasi nitrat berkisar 360 mg/L hingga 520 mg/L. Sedangkan pada reaktor R2 konsentrasi amonia menurun dari 149 mg/L hingga 77 mg/L, konsentrasi nitrit stabil pada 400 mg/L, dan konsentrasi nitrat berkisar 240 mg/L hingga 300 mg/L. Variasi konsentrasi amonia, nitrit, dan nitrat pada jangka waktu ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi pada bioreaktor *landfill*. Kedua proses ini terjadi secara kontinu dan dapat berlangsung secara simultan.

Volume lindi yang dihasilkan pada reaktor R1 dan reaktor R2 pada hari ke-7 hingga hari ke-21 cenderung meningkat dibandingkan hari penelitian sebelumnya, rata-rata volume lindi yang dihasilkan reaktor R1 pada jangka waktu penelitian ini sebesar 295 mL/hari, sedangkan pada R2 sebesar 420 mL/hari. Sebaliknya, konsentrasi amonia pada reaktor R1 dan reaktor R2 pada hari ke-7 hingga hari ke-21 cenderung turun dengan selisih rata-rata 70 mg/L hingga 125 mg/L. Menurut He *et.al.* (2006) konsentrasi amonia akan turun saat volume lindi yang dihasilkan pada bioreaktor *landfill* besar.

Pada hari ke-7 hingga ke-21 penelitian, konsentrasi COD pada kedua bioreaktor *landfill* turun signifikan. Pada reaktor R1 konsentrasi COD lindi

berkurang dari 87.900 mg/L pada hari ke-7 menjadi 62.400 mg/L pada hari ke-21. Sedangkan pada reaktor R2 konsentrasi COD lindi berkurang dari 68.300 mg/L pada hari ke-7 menjadi 43.200 mg/L pada hari ke-21. Menurut Fu *et.al.* (2009) penurunan konsentrasi COD menandakan adanya proses nitrifikasi dan denitrifikasi dalam bioreaktor *landfill*. Derajat penurunan COD sebagai tanda berlangsungnya proses denitrifikasi konversi nitrit menjadi gas nitrogen atau konversi nitrat menjadi gas nitrogen berbeda. Lebih lanjut Fu *et.al.* (2009) menjelaskan secara teoritis massa COD yang dibutuhkan untuk mengkonversi nitrit menjadi gas nitrogen sebesar 1,71 g COD/g sedangkan untuk mengkonversi nitrat menjadi gas nitrogen dibutuhkan massa COD sebesar 2,86 g COD/g. Long *et.al.* (2008) menambahkan, tingkat denitrifikasi dengan nitrat sebagai faktor pengkonversi COD lebih efektif dibandingkan nitrit.

Nilai pH pada hari penelitian ke-7 hingga ke-21 secara bertahap meningkat. Pada reaktor R1 nilai pH lindi naik dari 6,85 menjadi 8,85. Sedangkan pada reaktor R2 nilai pH lindi naik dari 5,95 menjadi 9,15. Nilai pH ini berbeda jauh dibandingkan hari penelitian ke-1 hingga ke-4 yang memiliki nilai pH asam yaitu kurang dari 6,5. Menurut He *et.al.* (2006) kapasitas denitrifikasi optimum memiliki nilai pH diatas 8. Pada jangka waktu ini konsentrasi nitrat pada R1 naik-turun, sedangkan konsentrasi nitrat pada R2 relatif turun. Dengan kata lain terjadi penurunan konsentrasi nitrat lindi pada kedua reaktor R2. Penurunan konsentrasi nitrat pada kondisi anaerobik biasanya akan berdampak pada kenaikan konsentrasi sulfat, kondisi ini dinamakan denitrifikasi autotrofik (Berge *et.al.*, 2006). Denitrifikasi autotrofik terjadi pada suatu sistem dengan konsentrasi material organik yang terbatas dan adanya keberadaan kandungan sulfur anorganik seperti hidrogen sulfida. Reaksi denitrifikasi autotrofik adalah sebagai berikut:



Keberadaan ion  $SO_4^{-2}$  akan mempengaruhi nilai pH reaktor R2 karena memiliki sifat asam. Namun pada penelitian ini nilai pH reaktor R2 tidak turun hingga hari penelitian ke-21. Hal ini menandakan kandungan sulfur anorganik pada sampah terbatas.

Denitrifikasi merupakan proses anaerobik atau anoksik yang dalam prosesnya tidak ditemui keberadaan oksigen. Seperti yang telah diketahui pada reaktor R1 diberi perlakuan aerasi dengan laju aerasi 1 liter/menit-kg. Dengan kata lain terdapat keberadaan oksigen dalam sistem bioreaktor *landfill* R1. Namun menurut Berge *et.al.* (2006) pada suatu sistem aerobik akan tetap terjadi proses dinitrifikasi akibat keberadaan kantong anoksik (*anoxic pocket*) dalam sampah bioreaktor *landfill*. Keberadaan kantong anoksik terbukti dengan adanya bau gas H<sub>2</sub>S ketika dilakukan pengambilan sampel sampah pada reaktor R1.

Pada hari ke-28 dan ke-35 penelitian konsentrasi amonia lindi kembali meningkat setelah sebelumnya pada hari penelitian ke-7 hingga ke-21 turun. Konsentrasi amonia reaktor R1 pada hari ke-21 143 mg/L meningkat menjadi 202 mg/L pada hari ke-35. Sama seperti halnya reaktor R1, konsentrasi amonia reaktor R2 pada hari ke-21 77 mg/L meningkat menjadi 159 mg/L pada hari ke-34. Peningkatan konsentrasi amonia ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu tempetur sampah dan penurunan konsentrasi nitrat lindi. Pada hari ke-21 hingga ke-28 penelitian temperatur kedua bioreaktor *landfill* meningkat. Pada reaktor R1 temperatur sampah meningkat dari 29,9°C pada hari ke-21 menjadi 31,5°C mg/L pada hari ke-28. Sedangkan pada reaktor R2 temperatur sampah meningkat dari 30,1°C pada hari ke-21 menjadi 32,3°C pada hari ke-35. Menurut Lubberding *et.al.* (2010) dan Foglar *et.al.* (2004) setelah sampah segar diolah pada bioreaktor *landfill* selama 14 hari, temperatur pada sampah akan meningkat. Hal ini dikarenakan aktivitas bakteri yang mendekomposisikan protein. Bakteri jenis ini membentuk asam amino dalam sampah organik menjadi amonia bebas.

Faktor selanjutnya adalah penurunan konsentrasi nitrat dalam lindi. Pada reaktor R1 konsentrasi nitrat lindi berkurang dari 490 mg/L pada hari ke-21 menjadi 290 mg/L pada hari ke-28. Sedangkan pada reaktor R2 konsentrasi nitrat lindi berkurang dari 240 mg/L pada hari ke-21 menjadi 150 mg/L pada hari ke-28. Menurut Berge *et.al.* (2006) penurunan nitrat disertai dengan peningkatan amonia dalam lindi merupakan proses DNRA (*Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium*). DNRA (red: penyisihan nitrat menjadi amonia secara disimilasi) adalah proses anaerobik atau anoksik yang terjadi pada bioreaktor *landfill*. Proses DNRA membutuhkan konsentrasi COD lindi yang tinggi dan keberadaan karbon

organik yang cukup. Pada reaktor R1 konsentrasi COD lindi pada hari penelitian ke-28 sebesar 25.500 mg/L, sedangkan pada reaktor R2 sebesar 25.000 mg/L. Konsentrasi COD lindi tersebut sangat besar ( $>1.500$  mg/L) sehingga kebutuhan proses DNRA untuk konsentrasi COD terpenuhi. Data persentase karbon dapat dilihat pada Lampiran 7, pada reaktor R1 total karbon pada hari ke-7 penelitian sebesar 74,41%, sedangkan pada reaktor R2 total karbon sebesar 39,14%.

#### 4.4.3 Transformasi Nitrogen pada Fase Ketiga (hari ke-35 hingga ke-150)

Pada hari ke-35 hingga ke-63 penelitian konsentrasi nitrit dan nitrat pada bioreaktor *landfill* R2 meningkat signifikan. Konsentrasi nitrit reaktor R2 pada hari ke-35 sebesar 200 mg/L kemudian naik menjadi 1.700 mg/L pada hari penelitian ke-63. Berbanding lurus dengan konsentrasi nitrit, konsentrasi nitrat pada reaktor R2 juga meningkat dari hari ke-35 sebesar 170 mg/L kemudian naik menjadi 1.560 mg/L pada hari penelitian ke-63. Pada jangka waktu yang sama terjadi penurunan konsentrasi DO, konsentrasi DO pada reaktor R2 saat hari ke-35 penelitian sebesar 0,24 mg/L kemudian meningkat menjadi 0,88 mg/L pada hari ke-63 penelitian. Dengan konsentrasi DO yang kecil ( $<1.19$  mg/L) proses nitrifikasi tidak akan berjalan sempurna karena amonia kekurangan donor  $O_2$  pada proses reaksinya, sehingga dapat dikatakan peningkatan konsentrasi nitrit dan nitrat di reaktor R2 pada jangka waktu ini tidak disebabkan oleh proses nitrifikasi. Menurut Berge *et.al* (2006), proses transformasi nitrogen yang mengakibatkan konsentrasi nitrit dan nitrat meningkat dalam kondisi anaerobik atau anoksik adalah proses *anammox*. *Anammox* adalah proses oksidasi biologis yang terjadi pada kondisi anaerobik. Pada prosesnya *anammox* mengkonversi amonia menjadi nitrit melalui proses serah-terima elektron antara amonia sebagai pendonor dan nitrit sebagai reseptor. Proses *anammox* yang terjadi pada penelitian ini terjadi cukup lama,  $\pm 4$  pekan atau 28 hari. Hal ini sesuai dengan Valencia *et.al.* (2011) dimana penyisihan amonia menjadi nitrit dan nitrat pada proses *anammox* sendiri membutuhkan waktu yang cukup lama, hal ini karena laju proses *anammox* kurang dari setengah laju proses nitrifikasi.

Pada hari ke-63 penelitian di masing-masing reaktor konsentrasi nitrit lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi nitrat. Pada jangka waktu

sebelumnya kondisinya berbanding terbalik dimana konsentrasi nitrit lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi nitrat. Kondisi ini menjelaskan bahwa nitrifikasi parsial yang terjadi dalam kedua sistem bioreaktor *landfill* tidak lebih dominan dibandingkan proses nitrifikasi penuh. Nitrifikasi parsial adalah proses konversi amonia menjadi nitrit, sedangkan nitrifikasi penuh adalah proses konversi amonia menjadi nitrit kemudian nitrat. Rendahnya tingkat nitrifikasi parsial disebabkan oleh berkurangnya konsentrasi amonia, material organik dalam lindi, kadar DO rendah, dan temperatur yang tinggi (Sun *et.al.*, 2014). Pada jangka waktu ini konsentrasi nitrogen amonia, nitrit, dan nitrat sudah menurun/stabil. Kemudian terjadi peningkatan konsentrasi DO pada kedua reaktor, pada reaktor R1 konsentrasi DO meningkat dari 1,15 mg/L menjadi 1,44 mg/L, sedangkan pada reaktor R2 konsentrasi DO meningkat dari 0,88 mg/L menjadi 1,13 mg/L.

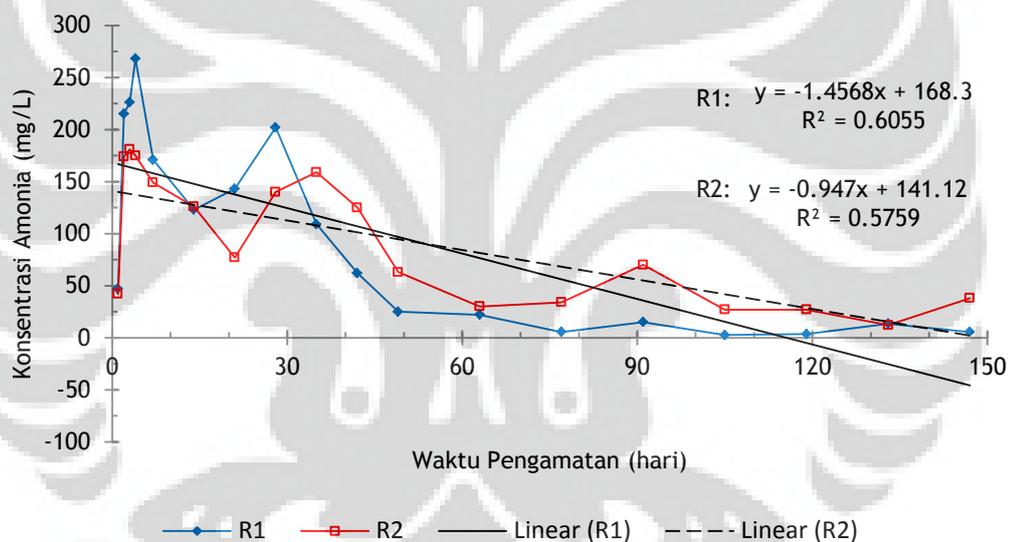
Stabilisasi penurunan amonia, nitrit, nitrat pada reaktor R1 dimulai dari hari ke-50 penelitian hingga hari ke-150 penelitian. Pada jangka waktu ini konsentrasi amonia berkisar 3,5 mg/L hingga 25 mg/L, konsentrasi nitrit berkisar 50 mg/L hingga 150 mg/L, dan konsentrasi nitrat berkisar 120 mg/L hingga 315 mg/L. Pada reaktor R2 stabilisasi penurunan amonia dimulai dari hari ke-120 penelitian hingga hari ke-150 penelitian. Pada jangka waktu ini konsentrasi amonia berkisar 12 mg/L hingga 38 mg/L, konsentrasi nitrit berkisar 100 mg/L hingga 200 mg/L, dan konsentrasi nitrat berkisar 210 mg/L hingga 260 mg/L. Hal ini dipengaruhi oleh umur sampah, dimana semakin tua umur sampah dan didukung oleh temperatur sampah yang mencapai 30°C maka akan semakin besar tingkat penyisihan amonianya (Lubberding *et.al.*, 2010).

#### 4.4.4 Penyisihan Amonia pada Bioreaktor *Landfill*

Salah satu cara menghitung penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill* adalah mengaplikasikan persamaan penyisihan amonia pada *lysimeter* arus vertikal (Bialoweic *et.al.*, 2011). Persamaan ini menghitung penyisihan amonia berdasarkan konsentrasi amonia terhadap konsentrasi nitrogen total dalam lindi. Konsentrasi nitrogen total sendiri terdiri dari konsentrasi amonia, nitrit, nitrat lindi, serta nitrogen yang hilang dalam sistem. Menurut Oncu dan Bal (2015) analisis jumlah nitrogen yang hilang dalam sistem ( $Q_{Nlost}$ ) dapat diketahui dari

neraca kesetimbangan nitrogen, konsentrasi nitrogen yang hilang sangat kecil jika dibandingkan konsentrasi amonia, nitrit, dan nitrat pada lindi. Pada penelitian ini konsentrasi nitrogen yang hilang dalam sistem tidak disertakan dalam hasil dan pembahasan.

Konsentrasi amonia, nitrit, dan nitrat (mg/L) kemudian dikonversi menjadi satuan massa per hari (mg/hari). Nilai ini dapat ditentukan karena telah diketahui volume lindi yang dihasilkan bioreaktor *landfill* per-hari. Volume lindi merupakan hasil dari sistem yang dipengaruhi oleh resirkulasi lindi dan penambahan air hujan artifisial (Bialoweic, 2011). Setelah itu menentukan laju penyisihan massa nitrogen (mgN/m<sup>2</sup> – hari) karena telah diketahui total area efektif bioreaktor *landfill*. Kemudian menentukan efisiensi penyisihan (%) dari laju penyisihan massa amonia terhadap penyisihan massa nitrogen total.

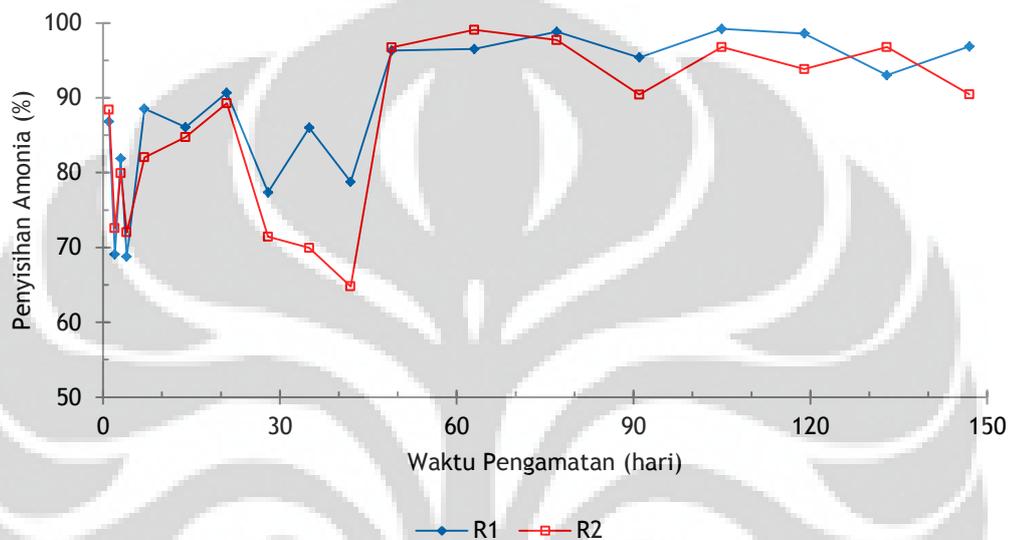


Gambar 4. 13 Perubahan Konsentrasi Amonia

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Pengolahan data pada penelitian ini tidak menggunakan persamaan *zero order* atau *first order*. Nilai R<sup>2</sup> linier dari garis *trendline* yang dihasilkan dari masing-masing persamaan tidak mendekati 0,9. Hal ini dikarenakan konsentrasi variabel penelitian yang fluktuatif. Dapat dilihat pada Gambar 4.13, konsentrasi amonia sebagai variabel yang diteliti menunjukkan perubahan yang cukup signifikan khususnya pada 60 hari awal penelitian. Hal ini dikarenakan sampah yang diolah pada *landfill* merupakan sampah baru. Menurut Tchobanoglous *et.al.*

(1993), konsentrasi parameter kimiawi dan biologis lindi muda atau lindi yang dihasilkan pada *landfill* baru sangat variatif. Adapun yang dimaksud Tchobanoglous *et.al.* (1993) sebagai *landfill* baru adalah *landfill* yang dioperasikan kurang dari satu tahun. Usia *landfill* dikatakan tua apabila sudah dioperasikan lebih dari 4 tahun, dalam kondisi ini konsentrasi parameter kimiawi dan biologis lindi tua cenderung tidak variatif dan stabil.



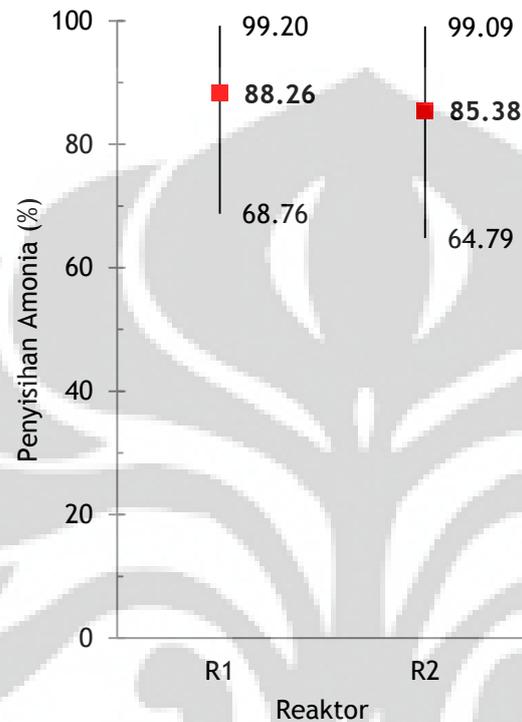
Gambar 4. 14 Persentase Penyisihan Amonia

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Pada Lampiran 12, dapat dilihat hasil uji statistik *t* independen dua ujung dengan tingkat kepercayaan 90% untuk konsentrasi amonia lindi (Berthouex dan Brown, 2002). Tidak terdapat interval 0 sehingga disimpulkan penyisihan amonia kedua bioreaktor *landfill* dapat dikomparasikan dan terdapat perbedaan yang signifikan pada penyisihan amonia di reaktor R1 dan reaktor R2.

Efisiensi penyisihan amonia bioreaktor *landfill* reaktor R1 dan reaktor R2 dapat dilihat pada Gambar 4.14. Pada hari ke-4 penelitian efisiensi penyisihan amonia masih fluktuatif. Efisiensi penyisihan amonia pada reaktor R1 berkisar antara 68,76% hingga 86,80%, sedangkan pada reaktor R2 berkisar antara 72,00% hingga 88,40%. Seperti yang dibahas pada bagian sebelumnya, fluktuasi ini disebabkan oleh proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi dalam bioreaktor *landfill* (Fu *et.al.*, 2004). Pengurangan efisiensi penyisihan amonia di reaktor R2

pada jangka waktu penelitian ke-35 hingga ke-49 kembali menegaskan bahwa terjadi proses *anammox* dalam reaktor R2. Efisiensi penyisihan amonia yang cukup besar ( $>90,41\%$ ) pada masing-masing reaktor terjadi mulai hari ke-63 penelitian hingga hari ke-150.



Gambar 4. 15 Rentang Persentase Penyisihan Amonia

Rata-rata persentase penyisihan amonia (■)

Sumber: Hasil Olahan Penulis (2015)

Rentang penyisihan amonia selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.14. Seperti yang terlihat pada gambar persentase penyisihan amonia pada reaktor R1 berkisar antara 68,76% hingga 99,20% dengan persentase penyisihan amonia rata-rata sebesar 88,26%. Sedangkan penyisihan amonia pada reaktor R2 berkisar antara 64,79% hingga 99,09% dengan persentase penyisihan amonia rata-rata sebesar 85,38%. Dapat ditarik kesimpulan persentase penyisihan amonia lindi pada reaktor R1 lebih baik dibandingkan dengan reaktor R2. Dengan kata lain perlakuan aerasi pada bioreaktor *landfill* memperbesar efisiensi penyisihan amonia lindi. Menurut Khalil *et.al.* (2004) keberadaan oksigen pada konsentrasi tertentu mempercepat proses nitrifikasi atau pembentukan nitrat. Lebih lanjut

menurut He *et.al.* (2006) perlakuan aerasi pada laju tertentu secara intermiten dapat merangsang konversi biologis mikroorganisme penitrifikasi yang membantu penyisihan amonia. Namun apabila intensitas perlakuan aerasi dilakukan secara terus menerus, oksigen dapat menjadi penghambat proses nitrifikasi (Berge *et.al.*, 2006). Dapat disimpulkan penentuan laju aerasi dan perlakuan aerasi secara intermiten yang dilakukan pada penelitian ini pada reaktor R1 sudah tepat.

Menurut Fu *et.al.* (2009) kadar air dan resirkulasi lindi juga mempengaruhi proses nitrifikasi. Kadar air mempengaruhi tingkat pertumbuhan mikroorganisme penitrifikasi. Seperti yang dapat dilihat di Lampiran 6, rata-rata kadar air sampah selama penelitian berlangsung pada reaktor R1 sebesar 38% sedangkan pada reaktor R2 sebesar 43,8%. Nilai kadar air ini mendekati nilai kadar air ideal yang disyaratkan pada kriteria desain bioreaktor *landfill* yaitu sebesar 40% (Johnson *et.al.* 2006). Perlakuan resirkulasi lindi sangat penting karena kandungan organik lindi memberikan nutrisi bagi mikroorganisme (Aziz *et.al.*, 2010).

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh aerasi terhadap stabilisasi sampah, transformasi nitrogen, dan penyisihan amonia pada bioreaktor landfill, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari uji statistik  $t$  independen terhadap stabilisasi sampah diketahui pada bioreaktor *landfill* yang diberi pengaruh aerasi (R1) dan bioreaktor *landfill* yang tidak diberi pengaruh aerasi (R2) keduanya tidak memiliki perbedaan signifikan dalam menurunkan volume sampah/mengurangi massa sampah. Sehingga dapat disimpulkan perlakuan aerasi tidak mempengaruhi stabilisasi sampah pada bioreaktor *landfill*.
2. Transformasi nitrogen pada bioreaktor *landfill* yang diberi pengaruh aerasi (R1) dan bioreaktor *landfill* yang tidak diberi pengaruh aerasi (R2) cenderung fluktuatif selama penelitian. Pada awal penelitian konsentrasi nitrit dan nitrat pada reaktor R1 berkisar antara 200 mg/L hingga 700 mg/L sedangkan pada reaktor R2 berkisar 200 mg/L hingga 500 mg/L. Nitrifikasi tetap berjalan pada reaktor R2 yang notabeneanya anaerobik karena terdapat konsentrasi DO dalam lindi yang cukup besar selama awal penelitian. Pada pertengahan penelitian terjadi proses *anammox* pada reaktor R2 karena kondisi reaktor yang anoksik. Stabilitas konsentrasi amonia, nitrit, dan nitrat kedua bioreaktor *landfill* pada reaktor R1 dimulai dari hari ke-50 penelitian, sedangkan pada R2 dimulai pada hari ke-120 penelitian. Sehingga dapat disimpulkan perlakuan aerasi mempengaruhi transformasi nitrogen/perubahan konsentrasi amonia, nitrit, dan nitrat lindi pada bioreaktor *landfill*.
3. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari uji statistik  $t$  independen terhadap penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill* yang diberi

pengaruh aerasi (R1) dan bioreaktor yang tidak diberi pengaruh aerasi (R2) *landfill* keduanya memiliki signifikansi dalam menurunkan konsentrasi amonia lindi. Dengan menggunakan persamaan *lysimeter* arus vertikal diketahui rata-rata persentase penyisihan amonia lindi pada reaktor R1 sebesar 88,26%, sedangkan pada reaktor R2 sebesar 85,38%. Sehingga dapat disimpulkan perlakuan aerasi mempengaruhi penyisihan konsentrasi amonia lindi pada bioreaktor *landfill*.

## 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian yang berhubungan dengan topik ini selanjutnya:

- a. Dari segi manufaktur bioreaktor *landfill* yang digunakan dalam penelitian, sebaiknya titik lubang pengambilan sampah bioreaktor *landfill* diperbesar untuk mempermudah pengambilan sampel sampah, diameter titik lubang pengambilan sampah disarankan lebih dari 1 inchi.
- b. Dari segi metode penelitian, sebaiknya dilakukan pengecekan parameter mikroorganisme dan konsentrasi amonia dalam sampah yang terdapat pada bioreaktor *landfill*. Dengan mengetahui laju penghilangan amonia dalam sampah dan lindi dapat ditentukan laju penyisihan amonia dengan menggunakan persamaan Monod.

## DAFTAR PUSTAKA

- Australian Environment Protection Authority. (2008). *Waste Material Densities Data*. Diakses pada 16 November 2014:  
[http://www.epa.vic.gov.au/business-and-industry/lower-your-impact/~/\\_/media/Files/bus/EREP/docs/wastematerials-densities-data.pdf](http://www.epa.vic.gov.au/business-and-industry/lower-your-impact/~/_/media/Files/bus/EREP/docs/wastematerials-densities-data.pdf).
- Aziz, S. Q., Aziz, H. A., Yusoff, M. S., Bashir, M., & Umar, M. (2010). Environmental Management. *Leachate Characterization in Semi-Aerobic and Anaerobic Sanitary Landfill: A Comparative Study*, 6.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2008). SNI 19-3964-1994 tentang Spesifikasi Timbulan Sampah untuk Kota Kecil dan Sedang.
- Bean, E. M. (1996). *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Berge, N. (2006). *In-Situ Ammonia Removal of Leachate in Bioreactor Landfill*, 13-52.
- Berge, N., Reinhart, D., & Dietz, J. (2006). Waste Management. *In Situ Ammonia Removal in Bioreactor Landfill Leachate*, 1-9.
- Berthouex, P., & Brown, L. (2002). *Statistic for Environmental Engineers, 2nd Edition*. Florida: Lewis Publishers.
- Bialoweic, A., Janczukowicz, W., & Randerson, P. (2011). Ecological Engineering. *Nitrogen Removal from Wastewater in Vertical Flow Constructed Wetlands Containing LWA/Gravel Layers and Reed Vegetation*, 2-4.
- Borglin, S., Hazen, T., & Oldenburg, C. (2004). *Comparison of Aerobic and Anaerobic Biotreatment of Municipal Solid Waste*, 4-7.
- Chan, G., Chu, L., & Wong, M. (2001). Environmental Pollution. *Effects of Leachate Recirculation on Biogas Production from Landfill Co-Disposal of Municipal Solid Waste, Sewage Sludge, and Marine Sediment*, 4-5.
- Chen, Y. X., Wu, S. W., Wu, W. X., Sun, H., & Ding, Y. (2009). Hazardous Materials. *Denitrification Capacity of Bioreactor Filled with Refuse at Different Landfill Ages*, 4.
- Christensen, T. (1992). *Landfilling of Waste: Leachate*. New Jersey: E & FN Spon Press.

- Cunningham, W. (2008). *Environmental Science: A Global Concerns*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Damanhuri, E. (2010). *Pengelolaan Sampah*. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Foglar, L., Briski, F., Sipos, L., & Vukovic, M. (2004). *Bioresource Technology. High Nitrate Removal from Synthetic Wastewater with the Mixed Bacterial Culture*, 5-6.
- Fu, Z., Yang, F., & An, Y. (2009). *Bioresource Technology. Characteristic Nitrite and Nitrate In Situ Denitrification in Landfill Bioreactors*, 3-6.
- Global Development Research Centre. (2003). *Environment: Urban Solid Waste Management*. Diakses pada 28 Oktober 2014  
<http://www.gdrc.org/spheres/environment.html>.
- Harinaldi. (2005). *Prinsip-Prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Erlangga.
- He, R., & Shen, D. (2006). *Hazardous Material. Nitrogen Removal in Bioreactor Landfill System with Intermittent Aeration at the Top Landfilled Waste*, 2-6.
- IPCC. (2006). *IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventory*. Diakses pada 14 November 2014  
[http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_2\\_Ch2\\_Waste\\_Data.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_2_Ch2_Waste_Data.pdf).
- Johnson, C. (2006). *Characterization, Design, Construction, and Monitoring of Bioreactor Landfill*. Washington DC: ITRC Press.
- Jokela, J., Kettunen, R., Sormunen, K., & Rintala, J. (2002). *Water Research. Biological Nitrogen Removal from Municipal Landfill Leachate: Low-Cost Nitrification in Biofilters and Laboratory Scale In-Situ Denitrification*, 4-7.
- Khalil, K., Mary, B., & Renault, P. (2004). *Soil Biology and Biochemistry. Nitrous Oxide Production by Nitrification and Denitrification in Soil Aggregates as Affected by Oxygen Concentration*, 9.
- Laboratorium Hidrolika, Hidrologi, dan Sungai FTUI. (2013). *Data Curah Hujan Stasiun Fakultas Teknik Universitas Indonesia (Tahun 2003-2012)*. Depok.

- Long, Y., Guo, Q.W., Fang, C.R., Zhu, Y.M., & Shen, D.S. (2008). Bioresource Technology. *In Situ Nitrogen Removal in Phase-Separate Bioreactor Landfill*, 6-7.
- Long, Y., Lao, H., & Hu, L.F. (2007). Bioresource Technology. *Effects of In Situ Nitrogen Removal on Degradation/Stabilization of MSW in Bioreactor Landfill*, 4-5.
- Lubberding, H., Valencia, R., Salazar, R., & Lens, P. (2010). Environmental Management. *Release and Conversion of Ammonia in Bioreactor Landfill Simulators*, 8.
- Oncu, G., & Kranert, R. (2012). Waste Management. *Aerobic In Situ Stabilization of Landfill Konstanz Dorfweier: Leachate Quality After 1 Year of Operation*, 8.
- Ozturk, E., & Bal, N. (2015). Ultrasonic Sonochemistry. *Evaluation of Ammonia-Nitrogen Removal Efficiency from Aqueous Solutions by Ultrasonic Irradiation in Short Sonication Period*, 6.
- Peggs, I. (2008). Geosynthetics. *Prefabricated Bituminous Geomembrane: A Candidate for Exposed Geomembrane Caps for Landfill Closure*, 196.
- Pinjing, H., Yang, N., Gu, H., & Zhang, H. (2011). Environmental Science. *Nitrogen Oxide and Ammonia Emissions from a Bioreactor Landfill Operated Under Limited Aerobic Degradation Condition*, 4-8.
- Price, A., Barlaz, M., & Hater, G. (2003). Waste Management. *Nitrogen Management in Bioreactor Landfill*, 5.
- Rich, C. G., & Voulvolis, N. (2007). Waste Management. *The Potential for Aeration of MSW Landfills to Accelerate Completion*, 7.
- San, I., & Onay, T. (2001). Hazardous Material. *Impact of Various Leachate Recirculation Regimes on Municipal Solid Waste Degradation*, 5-6.
- Smidt, E., & Lechner, P. (2005). Thermochimicacta. *Study on the Degradation and Stabilization of Organic Matter in Waste by Means of Thermal Analysis*, 5.
- Sponza, D. T., & Agdag, O. N. (2003). Process Biochemistry. *Impact of Leachate Recirculation and Recirculation Volume on Stabilization of Municipal Solid Waste in Simulated Anaerobic Bioreactors*, 6.

- Sun, F., Sun, B., Li, Q., & Deng, X. (2014). *Chemosphere. Pilot-scale Nitrogen Removal from Leachate by Ex-Situ Nitrification and In-Situ Denitrification in Landfill Bioreactor*, 1-4.
- Tatsi, A., & Zoubolis, A. (2001). *Environmental Research. A Field Investigation of The Quantity and Quality of Leachate from a Municipal Solid Waste Landfill in a Mediterranean Climate (Thessaloniki, Greece)*, 1.
- Tchobanoglous, G. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Tipler, P. (1998). *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- US. Environmental Protection Agency. (2013). *Bioreactors*. Washington DC: Diakses pada 15 Mei 2015  
<http://www.epa.gov/solidwaste/nonhaz/municipal/landfill.htm>.
- US. Environmental Protection Agency. (2014). *Landfill*. Washington DC: Diakses pada 30 Oktober 2014  
<http://www.epa.gov/solidwaste/nonhaz/municipal/landfill.htm>.
- Valencia, R., van der Zon, W., Woelders, H., Lubberding, H., & Gijzen, H. (2008). *Bioresource Technology. The Effect of Hydraulic Conditions on Waste Stabilization in Bioreactor Landfill Simulators*, 1-2.
- Valencia, R., Zon, W. v., & Woelders, H. (2011). *Waste Management. Anammox: An Option for Ammonium Removal in Bioreactor Landfills*, 7.

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Penurunan Volume Sampah

No.	Tanggal	Hari Ke-	Penurunan Sampah (cm)		Penurunan Sampah (%)	
			R1	R2	R1	R2
	<i>Ketinggian Awal</i>	0	115	120	0.00	0.00
1	16-Dec-14	1	80	83	30.43	30.83
2	17-Dec-14	2	75	80	34.78	33.33
3	18-Dec-14	3	73	77	36.52	35.83
4	19-Dec-14	4	72	76	37.39	36.67
5	22-Dec-14	7	70	74	39.13	38.33
6	23-Dec-14	8	69.5	69.5	39.57	42.08
7	24-Dec-14	9	69	68	40.00	43.33
8	29-Dec-14	14	67	67	41.74	44.17
9	30-Dec-14	15	67	67	41.74	44.17
11	5-Jan-15	21	65	65	43.48	45.83
12	6-Jan-15	22	65	65	43.48	45.83
13	7-Jan-15	23	64.5	64.5	43.91	46.25
14	8-Jan-15	24	64	64	44.35	46.67
15	9-Jan-15	25	64	64	44.35	46.67
16	12-Jan-15	28	63	63.5	45.22	47.08
17	13-Jan-15	29	62.5	63	45.65	47.50
18	14-Jan-15	30	62.5	63	45.65	47.50
19	15-Jan-15	31	62	62.5	46.09	47.92
20	16-Jan-15	32	61.5	62	46.52	48.33
21	19-Jan-15	35	60	61	47.83	49.17
22	20-Jan-15	36	60	61	47.83	49.17
23	21-Jan-15	37	60	61	47.83	49.17
24	22-Jan-15	38	59.5	61	48.26	49.17
25	23-Jan-15	39	59.5	60	48.26	50.00
26	26-Jan-15	42	59.5	60	48.26	50.00
27	27-Jan-15	43	59.5	59.5	48.26	50.42
28	28-Jan-15	44	59	59.5	48.70	50.42
29	29-Jan-15	45	59	59.5	48.70	50.42
30	30-Jan-15	46	58.5	59	49.13	50.83
31	2-Feb-15	49	58	59	49.57	50.83
32	3-Feb-15	50	58	59	49.57	50.83
33	4-Feb-15	51	58	59	49.57	50.83
34	5-Feb-15	52	57.5	58.5	50.00	51.25

No.	Tanggal	Hari Ke-	Penurunan Sampah (cm)		Penurunan Sampah (%)	
			R1	R2	R1	R2
35	6-Feb-15	53	57.5	58.5	50.00	51.25
36	9-Feb-15	56	56.5	58	50.87	51.67
37	10-Feb-15	57	56	58	51.30	51.67
38	11-Feb-15	58	56	58	51.30	51.67
39	12-Feb-15	59	55.5	57.5	51.74	52.08
40	13-Feb-15	60	55.5	57.5	51.74	52.08
41	16-Feb-15	63	55.5	57.5	51.74	52.08
42	17-Feb-15	64	55	57.5	52.17	52.08
43	18-Feb-15	65	55	57	52.17	52.50
44	20-Feb-15	67	55	57	52.17	52.50
45	23-Feb-15	70	55	57	52.17	52.50
46	24-Feb-15	71	54.5	57	52.61	52.50
47	25-Feb-15	72	54.5	56.5	52.61	52.92
48	26-Feb-15	73	54.5	56.5	52.61	52.92
49	27-Feb-15	74	54.5	56.5	52.61	52.92
50	2-Mar-15	77	53.5	56	53.48	53.33
51	3-Mar-15	78	53.5	56	53.48	53.33
52	4-Mar-15	79	53	56	53.91	53.33
53	5-Mar-15	80	52.5	55	54.35	54.17
54	6-Mar-15	81	52.5	55	54.35	54.17
55	9-Mar-15	84	52	55	54.78	54.17
56	10-Mar-15	85	52	54.5	54.78	54.58
57	11-Mar-15	86	51.5	54.5	55.22	54.58
58	12-Mar-15	87	51.5	54.5	55.22	54.58
59	13-Mar-15	88	51.5	54	55.22	55.00
60	16-Mar-15	91	51.5	53	55.22	55.83
61	17-Mar-15	92	51.5	53	55.22	55.83
62	18-Mar-15	93	51.5	53	55.22	55.83
63	19-Mar-15	94	51	53	55.65	55.83
64	20-Mar-15	95	51	53	55.65	55.83
65	23-Mar-15	98	50.5	53	56.09	55.83
66	24-Mar-15	99	50.5	53	56.09	55.83
67	25-Mar-15	100	50	52.5	56.52	56.25
68	26-Mar-15	101	50	52.5	56.52	56.25
69	27-Mar-15	102	49.5	52.5	56.96	56.25
70	30-Mar-15	105	49	52	57.39	56.67
71	31-Mar-15	106	49	52	57.39	56.67
72	1-Apr-15	107	48.5	52	57.83	56.67
73	2-Apr-15	108	48.5	51.5	57.83	57.08
74	6-Apr-15	112	48.5	51	57.83	57.50

No.	Tanggal	Hari Ke-	Penurunan Sampah (cm)		Penurunan Sampah (%)	
			R1	R2	R1	R2
75	7-Apr-15	113	48.5	51	57.83	57.50
76	8-Apr-15	114	48.5	51	57.83	57.50
77	9-Apr-15	115	48.5	50.5	57.83	57.92
78	10-Apr-15	116	48	50.5	58.26	57.92
79	13-Apr-15	119	47	50.5	59.13	57.92
80	14-Apr-15	120	47	50	59.13	58.33
81	15-Apr-15	121	46.5	50	59.57	58.33
82	16-Apr-15	122	46.5	50	59.57	58.33
83	17-Apr-15	123	46	50	60.00	58.33
84	20-Apr-15	126	46	49.5	60.00	58.75
85	21-Apr-15	127	46	49.5	60.00	58.75
86	22-Apr-15	128	45.5	49.5	60.43	58.75
87	23-Apr-15	129	45.5	49.5	60.43	58.75
88	24-Apr-15	130	45.5	49	60.43	59.17
89	27-Apr-15	133	45.5	49	60.43	59.17
90	28-Apr-15	134	45	48.5	60.87	59.58
91	29-Apr-15	135	45	48.5	60.87	59.58
92	30-Apr-15	136	45	48.5	60.87	59.58
93	4-May-15	140	44.5	48.5	61.30	59.58
94	5-May-15	141	44	48.5	61.74	59.58
95	6-May-15	142	44	48	61.74	60.00
96	7-May-15	143	43.5	48	62.17	60.00
97	8-May-15	144	43.5	48	62.17	60.00
98	11-May-15	147	43	48	62.61	60.00
99	12-May-15	148	43	48	62.61	60.00
100	13-May-15	149	43	47.5	62.61	60.42

Lampiran 2. Data Konsentrasi COD Lindi

No.	Tanggal	Hari Ke-	R1			R2		
			Pembacaan	FP	Nilai COD (mg/L)	Pembacaan	FP	Nilai COD (mg/L)
1	16-Dec-14	1	487	100	48700	661	100	66100
2	17-Dec-14	2	781	100	78100	650	100	65000
3	18-Dec-14	3	709	100	70900	450	100	45000
4	19-Dec-14	4	624	100	62400	523	100	52300
5	22-Dec-14	7	879	100	87900	683	100	68300
6	29-Dec-14	14	508	100	50800	607	100	60700
7	5-Jan-15	21	318	100	31800	432	100	43200
8	12-Jan-15	28	255	100	25500	250	100	25000
9	19-Jan-15	35	225	50	11250	307	50	15350
10	26-Jan-15	42	141	50	7050	197	50	9850
11	2-Feb-15	49	72	40	2880	99	40	3960
12	16-Feb-15	63	91	40	3640	144	40	5760
13	2-Mar-15	77	96	20	1920	103	20	2060
14	16-Mar-15	91	191	20	3820	435	20	8700
15	30-Mar-15	105	128	16	2048	218	20	4360
16	13-Apr-15	119	343	5	1715	387	5	1935
17	27-Apr-15	133	201	5	1005	426	5	2130
18	11-May-15	147	426	2	852	423	2	846

Lampiran 3. Data Nilai pH Lindi

No.	Tanggal	Hari Ke-	Nilai pH	
			R1	R2
1	16-Dec-14	1	4.7	4.2
2	17-Dec-14	2	5.75	5.15
3	18-Dec-14	3	5.95	5.85
4	19-Dec-14	4	6.25	5.95
5	22-Dec-14	7	6.85	5.95
6	23-Dec-14	8	7.45	7.65
7	24-Dec-14	9	7.85	7.8
8	29-Dec-14	14	8.04	8.09
9	30-Dec-14	15	8.37	7.95
11	5-Jan-15	21	8.85	9.15
12	6-Jan-15	22	8.72	9.02
13	7-Jan-15	23	8.51	8.98
14	8-Jan-15	24	8.22	8.27
15	9-Jan-15	25	7.98	8.2
16	12-Jan-15	28	8.31	8.37
17	13-Jan-15	29	8.3	8.29
18	14-Jan-15	30	8.39	8.23
19	15-Jan-15	31	8.42	8.27
20	16-Jan-15	32	8.4	8.21
21	19-Jan-15	35	8.38	8.35
22	20-Jan-15	36	8.16	8.22
23	21-Jan-15	37	8.1	8.03
24	22-Jan-15	38	8.17	8.12
25	23-Jan-15	39	8.17	8.11
26	26-Jan-15	42	8.27	8.12
27	27-Jan-15	43	8.12	8.01
28	28-Jan-15	44	8.11	7.96
29	29-Jan-15	45	8.14	7.94
30	30-Jan-15	46	8.1	7.9
31	2-Feb-15	49	8.16	7.96
32	3-Feb-15	50	8.13	7.9
33	4-Feb-15	51	8.12	7.76
34	5-Feb-15	52	7.68	8.14
35	6-Feb-15	53	7.82	8.18
36	9-Feb-15	56	7.2	6.93
37	10-Feb-15	57	8.33	8.39
38	11-Feb-15	58	7.8	8
39	12-Feb-15	59	8.24	7.77

No.	Tanggal	Hari Ke-	Nilai pH	
			R1	R2
40	13-Feb-15	60	8.44	7.81
41	16-Feb-15	63	8.87	5.37
42	17-Feb-15	64	7.9	7.32
43	18-Feb-15	65	7.81	7.28
44	20-Feb-15	67	8.22	6.83
45	23-Feb-15	70	7.71	6.22
46	24-Feb-15	71	7.8	7.4
47	25-Feb-15	72	7.81	7.46
48	26-Feb-15	73	7.77	7.45
49	27-Feb-15	74	7.46	7.79
50	2-Mar-15	77	7.85	7.56
51	3-Mar-15	78	7.98	7.66
52	4-Mar-15	79	7.88	7.51
53	5-Mar-15	80	7.95	7.79
54	6-Mar-15	81	7.84	7.74
55	9-Mar-15	84	7.78	7.25
56	10-Mar-15	85	7.81	7.6
57	11-Mar-15	86	7.88	7.58
58	12-Mar-15	87	8.12	7.74
59	13-Mar-15	88	8.06	7.74
60	16-Mar-15	91	7.86	7.78
61	17-Mar-15	92	7.77	7.71
62	18-Mar-15	93	7.76	7.7
63	19-Mar-15	94	7.83	7.71
64	20-Mar-15	95	7.91	7.84
65	23-Mar-15	98	7.95	7.85
66	24-Mar-15	99	7.85	7.64
67	25-Mar-15	100	7.9	7.83
68	26-Mar-15	101	7.88	7.8
69	27-Mar-15	102	7.85	7.65
70	30-Mar-15	105	7.84	7.78
71	31-Mar-15	106	7.83	7.69
72	1-Apr-15	107	7.79	7.52
73	2-Apr-15	108	7.78	7.56
74	6-Apr-15	112	7.86	7.83
75	7-Apr-15	113	7.89	7.85
76	8-Apr-15	114	7.89	7.84
77	9-Apr-15	115	7.87	7.82
78	10-Apr-15	116	7.89	7.85
79	13-Apr-15	119	7.98	7.95
80	14-Apr-15	120	7.94	7.86

No.	Tanggal	Hari Ke-	Nilai pH	
			R1	R2
81	15-Apr-15	121	7.83	7.77
82	16-Apr-15	122	7.97	7.89
83	17-Apr-15	123	8.02	7.89
84	20-Apr-15	126	7.87	7.72
85	21-Apr-15	127	7.91	7.74
86	22-Apr-15	128	7.89	7.76
87	23-Apr-15	129	7.88	7.77
88	24-Apr-15	130	8.1	7.9
89	27-Apr-15	133	7.92	7.53
90	28-Apr-15	134	7.59	7.53
91	29-Apr-15	135	7.59	7.44
92	30-Apr-15	136	7.57	7.45
93	4-May-15	140	8.04	7.88
94	5-May-15	141	7.98	7.76
95	6-May-15	142	8.07	7.88
96	7-May-15	143	7.88	7.59
97	8-May-15	144	7.92	7.64
98	11-May-15	147	7.72	7.59
99	12-May-15	148	7.83	7.63
100	13-May-15	149	7.82	7.65

## Lampiran 4. Data Konsentrasi DO Lindi

No.	Tanggal	Hari Ke-	Nilai DO (mg/L)	
			R1	R2
1	16-Dec-14	1	1.5	1.46
2	17-Dec-14	2	1.45	1.74
3	18-Dec-14	3	1.04	1.59
4	19-Dec-14	4	1.05	1.19
5	22-Dec-14	7	0.48	0.35
6	29-Dec-14	14	0.43	0.2
7	5-Jan-15	21	0.39	0.17
8	12-Jan-15	28	0.56	0.14
9	19-Jan-15	35	0.72	0.24
10	26-Jan-15	42	0.64	0.16
11	2-Feb-15	49	0.96	0.46
12	16-Feb-15	63	1.15	0.88
13	2-Mar-15	77	1.44	1.13
14	16-Mar-15	91	1.39	0.88
15	30-Mar-15	105	1.22	0.77
16	13-Apr-15	119	1.48	0.83
17	27-Apr-15	133	1.95	1.02
18	11-May-15	147	3.00	0.94

Lampiran 5. Data Volume Lindi

No.	Tanggal	Hari Ke-	Volume Lindi per-hari		Kumulasi Volume Lindi (mL)	
			R1	R2	R1	R2
0	15-Dec-14	0	0	0	0	0
1	16-Dec-14	1	525	770	525	770
2	17-Dec-14	2	335	520	860	1290
3	18-Dec-14	3	360	690	1220	1980
4	19-Dec-14	4	340	570	1560	2550
5	22-Dec-14	7	435	785	1995	3335
6	23-Dec-14	8	115	140	2110	3475
7	24-Dec-14	9	220	200	2330	3675
8	29-Dec-14	14	320	600	2650	4275
9	30-Dec-14	15	175	168	2825	4443
11	5-Jan-15	21	500	620	3325	5063
12	6-Jan-15	22	255	250	3580	5313
13	7-Jan-15	23	275	180	3855	5493
14	8-Jan-15	24	187	185	4042	5678
15	9-Jan-15	25	270	270	4312	5948
16	12-Jan-15	28	445	425	4757	6373
17	13-Jan-15	29	280	369	5037	6742
18	14-Jan-15	30	310	275	5347	7017
19	15-Jan-15	31	290	285	5637	7302
20	16-Jan-15	32	265	395	5902	7697
21	19-Jan-15	35	455	655	6357	8352
22	20-Jan-15	36	115	210	6472	8562
23	21-Jan-15	37	205	295	6677	8857
24	22-Jan-15	38	260	295	6937	9152
25	23-Jan-15	39	235	264	7172	9416
26	26-Jan-15	42	500	600	7672	10016
27	27-Jan-15	43	159	234	7831	10250
28	28-Jan-15	44	215	200	8046	10450
29	29-Jan-15	45	210	255	8256	10705
30	30-Jan-15	46	222	240	8478	10945
31	2-Feb-15	49	410	419	8888	11364
32	3-Feb-15	50	205	190	9093	11554
33	4-Feb-15	51	238	295	9331	11849
34	5-Feb-15	52	135	219	9466	12068
35	6-Feb-15	53	189	224	9655	12292
36	9-Feb-15	56	490	455	10145	12747
37	10-Feb-15	57	195	150	10340	12897

No.	Tanggal	Hari Ke-	Volume Lindi per-hari		Kumulasi Volume Lindi (mL)	
			R1	R2	R1	R2
38	11-Feb-15	58	45	35	10385	12932
39	12-Feb-15	59	225	215	10610	13147
40	13-Feb-15	60	285	195	10895	13342
41	16-Feb-15	63	590	390	11485	13732
42	17-Feb-15	64	155	195	11640	13927
43	18-Feb-15	65	295	205	11935	14132
44	20-Feb-15	67	380	360	12315	14492
45	23-Feb-15	70	370	280	12685	14772
46	24-Feb-15	71	162	140	12847	14912
47	25-Feb-15	72	255	270	13102	15182
48	26-Feb-15	73	197	200	13299	15382
49	27-Feb-15	74	200	224	13499	15606
50	2-Mar-15	77	422	305	13921	15911
51	3-Mar-15	78	225	200	14146	16111
52	4-Mar-15	79	180	285	14326	16396
53	5-Mar-15	80	242	215	14568	16611
54	6-Mar-15	81	195	117	14763	16728
55	9-Mar-15	84	480	330	15243	17058
56	10-Mar-15	85	135	185	15378	17243
57	11-Mar-15	86	215	255	15593	17498
58	12-Mar-15	87	190	175	15783	17673
59	13-Mar-15	88	175	155	15958	17828
60	16-Mar-15	91	505	445	16463	18273
61	17-Mar-15	92	160	145	16623	18418
62	18-Mar-15	93	225	200	16848	18618
63	19-Mar-15	94	217	220	17065	18838
64	20-Mar-15	95	196	170	17261	19008
65	23-Mar-15	98	415	327	17676	19335
66	24-Mar-15	99	295	82	17971	19417
67	25-Mar-15	100	162	155	18133	19572
68	26-Mar-15	101	325	270	18458	19842
69	27-Mar-15	102	170	185	18628	20027
70	30-Mar-15	105	550	500	19178	20527
71	31-Mar-15	106	100	110	19278	20637
72	1-Apr-15	107	205	120	19483	20757
73	2-Apr-15	108	175	130	19658	20887
74	6-Apr-15	112	479	420	20137	21307
75	7-Apr-15	113	70	80	20207	21387
76	8-Apr-15	114	110	75	20317	21462
77	9-Apr-15	115	150	130	20467	21592

No.	Tanggal	Hari Ke-	Volume Lindi per-hari		Kumulasi Volume Lindi (mL)	
			R1	R2	R1	R2
78	10-Apr-15	116	155	127	20622	21719
79	13-Apr-15	119	405	140	21027	21859
80	14-Apr-15	120	130	187	21157	22046
81	15-Apr-15	121	137	123	21294	22169
82	16-Apr-15	122	205	190	21499	22359
83	17-Apr-15	123	170	150	21669	22509
84	20-Apr-15	126	430	400	22099	22909
85	21-Apr-15	127	95	120	22194	23029
86	22-Apr-15	128	100	100	22294	23129
87	23-Apr-15	129	120	125	22414	23254
88	24-Apr-15	130	160	105	22574	23359
89	27-Apr-15	133	300	315	22874	23674
90	28-Apr-15	134	95	40	22969	23714
91	29-Apr-15	135	135	135	23104	23849
92	30-Apr-15	136	165	185	23269	24034
93	4-May-15	140	445	415	23714	24449
94	5-May-15	141	30	62	23744	24511
95	6-May-15	142	93	60	23837	24571
96	7-May-15	143	105	65	23942	24636
97	8-May-15	144	150	110	24092	24746
98	11-May-15	147	270	270	24362	25016
99	12-May-15	148	110	105	24472	25121
100	13-May-15	149	145	105	24617	25226

Lampiran 6. Data Kadar Air Sampah

No.	Tanggal	Hari Ke-	Nilai Kadar Air							
			R1				R2			
			Berat Cawan	Berat Cawan + Isi	Berat Cawan + Isi (Setelah Dipanaskan)	% Kadar Air	Berat Cawan	Berat Cawan + Isi	Berat Cawan + Isi (Setelah Dipanaskan)	% Kadar Air
	Kadar Air Awal	0	65.2322	78.123	73.2328	62.06	65.2322	78.123	73.2328	62.06
1	16-Dec-14	1	68.236	80.132	74.9822	56.71	54.556	66.322	61.2366	56.78
2	17-Dec-14	2	67.7552	82.3478	74.6055	46.94	62.0566	72.3322	67.5508	53.47
3	18-Dec-14	3	54.696	65.315	58.4312	35.17	57.2688	69.2136	63.8975	55.49
4	19-Dec-14	4	55.3266	67.2342	59.836	37.87	54.6212	64.7858	59.234	45.38
5	22-Dec-14	7	69.854	79.8964	73.4424	35.73	53.73	61.71	57.7182	49.98
6	29-Dec-14	14	54.7104	64.71	58.2126	35.02	70.449	80.45	74.8264	43.77
7	5-Jan-15	21	64.8312	73.2156	68.2364	40.61	57.1898	65.2346	60.9988	47.35
8	12-Jan-15	28	56.9894	67.3216	60.2366	31.43	63.6876	73.6592	67.6632	39.87
9	19-Jan-15	35	65.5594	75.9808	68.9894	32.91	57.2358	67.3652	61.4854	41.95
10	26-Jan-15	42	54.6068	64.76	57.593	29.41	64.6196	74.116	68.8098	44.12
11	2-Feb-15	49	64.8782	73.208	67.1148	26.85	54.6086	65.725	59.8174	46.86
12	16-Feb-15	63	55.4698	67.1332	58.6684	27.42	57.4528	69.2726	62.1812	40.00
13	2-Mar-15	77	57.264	67.79	61.04	35.87	61.9886	71.715	65.8546	39.75
14	16-Mar-15	91	56.3230	65.3214	59.6092	36.52	54.7110	62.2588	57.7636	40.44
15	30-Mar-15	105	70.4796	77.91	73.0116	34.08	65.5692	73.217	67.552	25.93

No.	Tanggal	Hari Ke-	Nilai Kadar Air							
			R1				R2			
			Berat Cawan	Berat Cawan + Isi	Berat Cawan + Isi (Setelah Dipanaskan)	% Kadar Air	Berat Cawan	Berat Cawan + Isi	Berat Cawan + Isi (Setelah Dipanaskan)	% Kadar Air
16	13-Apr-15	119	64.8480	80.2982	69.2980	28.80	67.3044	73.6024	69.7348	38.59
17	27-Apr-15	133	65.9744	74.759	69.43	39.34	57.7698	80.807	66.9386	39.80
18	11-May-15	147	65.571	66.1026	65.719	27.84	64.8548	66.2514	65.3024	32.05
					Rata-rata	37.38			Rata-rata	45.09

Lampiran 7. Data C:N Sampah

Hari ke-	Nilai C		Nilai N		Rasio C/N	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
0	29.27	29.27	3.13	3.13	9.35	9.35
7	73.41	39.14	3.90	2.42	18.83	16.17
49	39.06	29.70	2.51	2.44	15.57	12.19
147	20.75	26.84	2.18	2.53	9.51	10.61



Lampiran 8. Data Konsentrasi Amonia Lindi

No.	Tanggal	Hari Ke-	Amonia					
			R1			R2		
			Pembacaan	FP	Nilai Amonia (mg/L)	Pembacaan	FP	Nilai Amonia (mg/L)
1	16-Dec-14	1	0.47	100	47	0.42	100	42
2	17-Dec-14	2	2.15	100	215	1.74	100	174
3	18-Dec-14	3	2.26	100	226	1.81	100	181
4	19-Dec-14	4	2.68	100	268	1.75	100	175
5	22-Dec-14	7	1.71	100	171	1.49	100	149
6	29-Dec-14	14	1.23	100	123	1.26	100	126
7	5-Jan-15	21	1.43	100	143	0.77	100	77
8	12-Jan-15	28	2.02	100	202	1.4	100	140
9	19-Jan-15	35	1.09	100	109	1.59	100	159
10	26-Jan-15	42	0.62	100	62	1.25	100	125
11	2-Feb-15	49	0.5	50	25	0.63	100	63
12	16-Feb-15	63	0.44	50	22	0.3	100	30
13	2-Mar-15	77	0.11	50	5.5	0.34	100	34
14	16-Mar-15	91	0.3	50	15	0.7	100	70
15	30-Mar-15	105	0.05	50	2.5	0.27	100	27
16	13-Apr-15	119	0.07	50	3.5	0.27	100	27
17	27-Apr-15	133	0.27	50	13.5	0.12	100	12
18	11-May-15	147	0.11	50	5.5	0.38	100	38

Lampiran 9. Data Konsentrasi Nitrit Lindi

No.	Tanggal	Hari Ke-	Nitrit					
			R1			R2		
			Pembacaan	FP	Nilai Nitrit (mg/L)	Pembacaan	FP	Nilai Nitrit (mg/L)
1	16-Dec-14	1	1	50	50	1	100	100
2	17-Dec-14	2	2	100	200	2	100	200
3	18-Dec-14	3	7	100	700	5	100	500
4	19-Dec-14	4	3	100	300	2	100	200
5	22-Dec-14	7	8	100	800	4	100	400
6	29-Dec-14	14	4	100	400	4	100	400
7	5-Jan-15	21	9	100	900	4	100	400
8	12-Jan-15	28	4	100	400	2	100	200
9	19-Jan-15	35	4	100	400	2	100	200
10	26-Jan-15	42	1	100	100	1	100	100
11	2-Feb-15	49	7	50	350	11	100	1100
12	16-Feb-15	63	7	50	350	17	100	1700
13	2-Mar-15	77	3	50	150	4	100	400
14	16-Mar-15	91	1	50	50	2	100	200
15	30-Mar-15	105	1	50	50	3	100	300
16	13-Apr-15	119	1	50	50	2	100	200
17	27-Apr-15	133	1	50	50	1	100	100
18	11-May-15	147	1	50	50	1	100	100

Lampiran 10. Data Konsentrasi Nitrat Lindi

No.	Tanggal	Hari Ke-	Nitrat					
			R1			R2		
			Pembacaan	FP	Nilai Nitrit (mg/L)	Pembacaan	FP	Nilai Nitrit (mg/L)
1	16-Dec-14	1	2.6	100	260	2.2	100	220
2	17-Dec-14	2	2.8	100	280	2.6	100	260
3	18-Dec-14	3	3.2	100	320	2.2	100	220
4	19-Dec-14	4	2.9	100	290	2.5	100	250
5	22-Dec-14	7	5.2	100	520	2.8	100	280
6	29-Dec-14	14	3.6	100	360	3	100	300
7	5-Jan-15	21	4.9	100	490	2.4	100	240
8	12-Jan-15	28	2.9	100	290	1.5	100	150
9	19-Jan-15	35	2.7	100	270	1.7	100	170
10	26-Jan-15	42	1.3	100	130	1.3	100	130
11	2-Feb-15	49	6	50	300	7.7	100	770
12	16-Feb-15	63	5.2	50	260	15.6	100	1560
13	2-Mar-15	77	6.3	50	315	10.5	100	1050
14	16-Mar-15	91	5.2	50	260	4.6	100	460
15	30-Mar-15	105	5.2	50	260	5.1	100	510
16	13-Apr-15	119	3.9	50	195	2.1	100	210
17	27-Apr-15	133	2.6	50	130	2.6	100	260
18	11-May-15	147	2.4	50	120	2.6	100	260

Lampiran 11. Uji  $t$  Independen Penurunan Volume Sampah

Hari	Penurunan Volume Sampah (cm)	
	R1	R2
0	-	-
1	35	37
2	5	3
3	2	3
4	1	1
7	2	2
8	0.5	4.5
9	0.5	1.5
14	2	1
15	0	0
21	2	2
22	0	0
23	0.5	0.5
24	0.5	0.5
25	0	0
28	1	0.5
29	0.5	0.5
30	0	0
31	0.5	0.5
32	0.5	0.5
35	1.5	1
36	0	0
37	0	0
38	0.5	0
39	0	1
42	0	0
43	0	0.5
44	0.5	0
45	0	0
46	0.5	0.5
49	0.5	0
50	0	0
51	0	0
52	0.5	0.5
53	0	0
56	1	0.5

Hari	Penurunan Volume Sampah (cm)	
	R1	R2
57	0.5	0
58	0	0
59	0.5	0.5
60	0	0
63	0	0
64	0.5	0
65	0	0.5
67	0	0
70	0	0
71	0.5	0
72	0	0.5
73	0	0
74	0	0
77	1	0.5
78	0	0
79	0.5	0
80	0.5	1
81	0	0
84	0.5	0
85	0	0.5
86	0.5	0
87	0	0
88	0	0.5
91	0	1
92	0	0
93	0	0
94	0.5	0
95	0	0
98	0.5	0
99	0	0
100	0.5	0.5
101	0	0
102	0.5	0
105	0.5	0.5
106	0	0
107	0.5	0
108	0	0.5
112	0	0.5
113	0	0

Hari	Penurunan Volume Sampah (cm)	
	R1	R2
114	0	0
115	0	0.5
116	0.5	0
119	1	0
120	0	0.5
121	0.5	0
122	0	0
123	0.5	0
126	0	0.5
127	0	0
128	0.5	0
129	0	0
130	0	0.5
133	0	0
134	0.5	0.5
135	0	0
136	0	0
140	0.5	0
141	0.5	0
142	0	0.5
143	0.5	0
144	0	0
147	0.5	0
148	0	0
149	0	0.5
<b>Rata-rata</b>	<b>0.73</b>	<b>0.73</b>

$E(y_1 - y_2)$	-0.005	
<b>Varian</b>	12.547	14.053
$V(y_1 - y_2)$	0.177	
$S_{pool}^2$	13.434	
$S_{pool}$	3.665	
$v(y_1 - y_2)$	0.266	
$S_{(y_1 - y_2)}$	0.516	
<b>t, 298, 0,05 (*)</b>	1.645	
<b>t, 298, 0,05 * <math>S_{(y_1 - y_2)}</math></b>	0.848	
<b>Interval</b>	0.843	-0.854

\*(Harinaldi, 2005)

Sesuai dari hasil uji  $t$  independen, interval R1 dan R2 memiliki nilai 0 pada angka satuannya, maka disimpulkan tidak terdapat perbedaan signifikan pengaruh aerasi terhadap stabilisasi sampah/penurunan volume sampah pada bioreaktor *landfill*.



Lampiran 12. Uji  $t$  Independen Penyisihan Amonia

Hari	Konsentrasi Amonia (mg/L)	
	R1	R2
1	47	42
2	215	174
3	226	181
4	268	175
7	171	149
14	123	126
21	143	77
28	202	140
35	109	159
42	62	125
49	25	63
63	22	30
77	5.5	34
91	15	70
105	2.5	27
119	3.5	27
133	13.5	12
147	5.5	38
<b>Rata-Rata</b>	<b>92.1</b>	<b>91.6</b>

$E(y_1 - y_2)$	0.528	
<b>Varian</b>	8321.465	3696.605
$V(y_1 - y_2)$	667.671	
$s^2_{pool}$	6384.599	
$s_{pool}$	79.904	
$v(y_1 - y_2)$	709.400	
$s_{(y_1 - y_2)}$	26.635	
$t, 298, 0,05^{(*)}$	1.689	
$t, 298, 0,05 * s_{(y_1 - y_2)}$	44.986	
<b>Interval</b>	45.514	-44.458

\*(Harinaldi, 2005)

Sesuai dari hasil uji  $t$  independen, interval R1 dan R2 tidak memiliki nilai 0 pada angka satuannya, maka disimpulkan pengaruh aerasi memberikan pengaruh signifikan terhadap penyisihan amonia pada bioreaktor *landfill*.