



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENGADUKAN TERHADAP JUMLAH FECAL
COLIFORM DAN *Salmonella* sp KOMPOS LUMPUR TINJA
PADA IPLT KALIMULYA DEPOK**

SKRIPSI

**WINNY LAURA CHRISTINA HUTAGALUNG
0806338954**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**THE EFFECT OF AGITATION TO NUMBER OF FECAL
COLIFORM AND *Salmonella* sp IN COMPOST FROM SLUDGE
DRYING BED AT KALIMULYA WASTE WATER
TREATMENT PLANT, CITY OF DEPOK**

FINAL REPORT

**WINNY LAURA CHRISTINA HUTAGALUNG
0806338954**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING PROGRAM
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
DEPOK
JUNE 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENGADUKAN TERHADAP JUMLAH FECAL
COLIFORM DAN *Salmonella* sp KOMPOS LUMPUR TINJA
PADA IPLT KALIMULYA DEPOK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

WINNY LAURA CHRISTINA HUTAGALUNG

0806338954

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**THE EFFECT OF AGITATION TO NUMBER OF FECAL
COLIFORM AND *Salmonella* sp IN COMPOST FROM SLUDGE
DRYING BED AT KALIMULYA WASTE WATER
TREATMENT PLANT, CITY OF DEPOK**

FINAL REPORT

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

**WINNY LAURA CHRISTINA HUTAGALUNG
0806338954**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING PROGRAM
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
DEPOK
JUNE 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Winny Laura Christina Hutagalung
NPM : 0806538954
Tanda Tangan : 
Tanggal : 5 Juni 2012

v

v

STATEMENT OF AUTHENTICITY

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

Name : Winny Laura Christina Hutagalung
Student ID : 0806338954
Signature : 
Date : June 5th, 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Winny Laura Christina Hutagalung
NPM : 0806338954
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Pengaruh Pengadukan Terhadap Jumlah *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp Kompos Lumpur Tinja Pada IPLT Kalimulya Depok

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

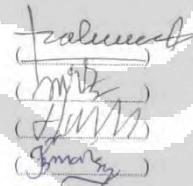
DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Ir. Gabriel S. B. Andari, M.Eng, Ph.D

Pembimbing 2 : Evy Novita, ST, M.Si

Penguji 1 : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, SE., M.Eng.

Penguji 2 : Ir. Irma Gusniani, M.Sc.



(*Gabriel S. B. Andari*)
(*Evy Novita*)
(*Djoko M. Hartono*)
(*Irma Gusniani*)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Juni 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

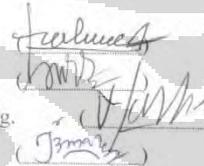
The final report submitted by :

Name : Winny Laura Christina Hutagalung
Student ID : 0806338954
Study Program : Environmental Engineering
Thesis Title : The Effect of Agitation To Number of *Fecal coliform* and *Salmonella* sp In Compost From Sludge Drying Bed at Kalimulya Waste Water Treatment Plant, City of Depok

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

BOARD OF EXAMINERS

Advisor I : Ir. Gabriel SB. Andari, M.Eng, PhD
Advisor II : Evy Novita, ST., MSi
Examiner I : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, SE., M.Eng.
Examiner II : Ir. Irma Gusniani, M.Sc.



Defined in : Depok
Date : June 5th, 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang MahaEsa karena berkat kasih dan anugerah-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang sangat membantu dan mendukung pengerjaan skripsi ini:

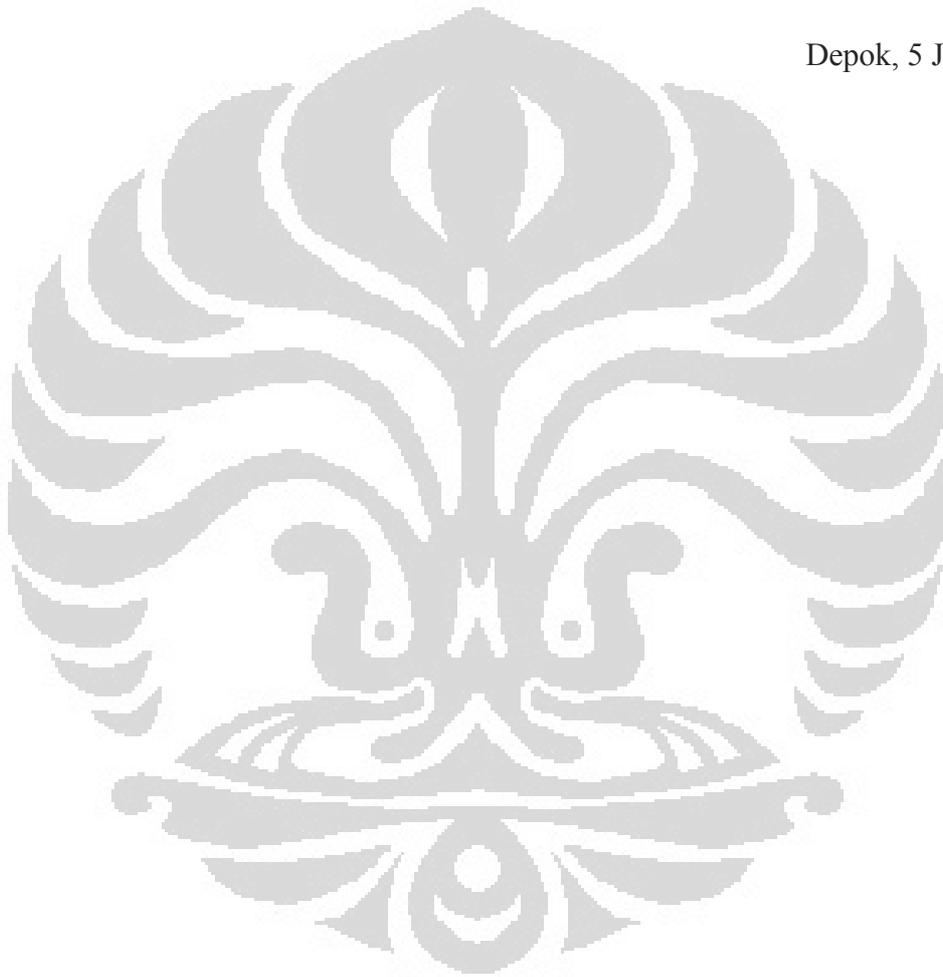
1. Ibu Ir. Gabriel S. B. Andari, M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, nasihat selama saya mengerjakan skripsi ini.
2. Ibu Evy Novita, ST, M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, nasihat selama saya mengerjakan skripsi ini.
3. Orang tua, kedua adik, kedua naboru dan keluarga besar saya yang tak henti-hentinya mendoakan, memberikan semangat dan nasihat juga mendukung saya dalam hal materi.
4. Farisatul Amanah beserta Orang tua yang telah banyak membantu saya dalam penelitian ini.
5. Mbak Sri Diah dan Mbak Licka yang membantu saya dalam mengerjakan praktikum di laboratorium juga sebagai tempat untuk bertukar pikiran.
6. Pak Damud, Mas Iben, dan Mas Nur (Rumah Kompos FMIPA UI) serta Pak Asep dari Dinas UMKM Depok dan Pak Niko sebagai Koordinator UPS Kemiri Muka yang telah banyak membantu selama persiapan dan percobaan pengomposan.
7. Pak Widodo dari Laboratorium Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia yang telah membantu saya dalam pemeriksaan sampel bakteri *Salmonella* sp.
8. Bapak Dr. Wibowo Mangun Wardoyo, M.Sc. dari Departemen Biologi FMIPA UI yang telah membantu saya dalam bertukar pikiran mengenai jenis bakteri hasil penelitian.
9. Teman-teman Departemen Teknik Sipil, POFTUI (Persekutuan Oikumene Fakultas Teknik UI) yang telah memberikan semangat.

10. Mbak Fitri, Mbak Dian, dan pegawai Sekretariat Teknik Sipil Universitas Indonesia yang telah membantu dalam urusan surat menyurat.
11. Semua pihak yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi saya ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas seluruh kebaikan semua pihak yang telah membantu saya. Harapan saya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak.

Depok, 5 Juni 2012

Penulis



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

Sebagai civitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Winny Laura Christina Hutagalung

NPM : 0806338954

Program Studi : Teknik Lingkungan

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Jenis Karya : Skripsi

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

PENGARUH PENGADUKAN TERHADAP JUMLAH FECAL COLIFORM DAN *Salmonella sp* KOMPOS LUMPUR TINJA PADA IPLT KALIMULYA DEPOK

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap menyantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Tanggal : 5 Juni 2012

Yang menyatakan



(Winny Laura Christina Hutagalung)

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

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

Name : Winny Laura Christina Hutagalung
Sutudent ID : 0806338954
Study Program : Environmental Engineering
Department : Civil Engineering
Faculty : Engineering
Type of Work : Final Report

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

THE EFFECT OF AGITATION TO NUMBER OF FECAL COLIFORM AND *Salmonella* sp IN COMPOST FROM SLUDGE DRYING BED AT KALIMULYA WASTE WATER TREATMENT PLANT, CITY OF DEPOK

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 mu final report as long as list my name as the author and copyright owner.

I certify that the above statement is true.

Signed at : Depok
Date this : June 5th, 2012

The Declarer



(Winny Laura Christina Hutagalung)

ABSTRAK

Nama : Winny Laura Christina Hutagalung
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pengaruh Pengadukan Terhadap Jumlah *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp Kompos Lumpur Tinja Pada IPLT Kalimulya Depok

Lumpur pada *sludge drying bed* Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kalimulya Depok dimanfaatkan masyarakat sekitar sebagai penyubur tanah. Padahal, lumpur tersebut belum memenuhi kriteria untuk dijadikan penyubur tanah. Oleh karena itu, diperlukan satu pengolahan untuk memperbaiki kualitas lumpur tersebut. Pengolahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengomposan yang mencampur lumpur dari *sludge drying bed* dan sampah organik pasar dengan menggunakan metode *open windrow*. Pengomposan merupakan proses eksotermik yang akan menghasilkan panas dan pengukuran suhu dilakukan selama proses pengomposan berlangsung. Dalam percobaan pengomposan ini, dua perlakuan pengadukan yang berbeda diberikan pada dua buah komposter. Kompos diaduk dengan frekuensi dua dan empat hari. Kualitas yang diteliti dalam penelitian ini adalah *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengadukan empat hari mampu mencapai suhu hingga 66,4⁰C, sedangkan kompos dengan pengadukan dua hari hanya mencapai suhu 65,2⁰C. Hasil pengukuran jumlah *Fecal coliform* adalah 23 MPN/gr pada hari ke-15, sedangkan jumlah *Salmonella* sp adalah <2 MPN/4gr pada hari ke-30. Ketika suhu mencapai suhu termofilik (35-65⁰C), maka jumlah kedua bakteri tersebut akan berkurang. Dengan demikian, pengomposan mampu menurunkan jumlah bakteri *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp sehingga dapat memenuhi SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Namun, terjadi pertumbuhan kembali bakteri dan secara signifikan ditunjukkan dengan jumlah *Fecal coliform* yang meningkat pada hari ke-30 dan 40, yaitu mencapai 50 MPN/gr dan 300 MPN/gr. Titik maturasi kompos tidak hanya dilihat dari kualitas mikrobiologisnya, tetapi juga dari kestabilan suhu, reduksi volume, bau, warna, dan tekstur kompos. Secara umum, variasi frekuensi pengadukan dua dan empat hari sekali tidak menghasilkan perbedaan yang mencolok. Untuk percobaan pengomposan yang lebih efektif, maka pengadukan yang lebih disarankan adalah frekuensi pengadukan 4 hari.

Kata kunci: Pengomposan *open windrow*, lumpur tinja, *Fecal coliform*, *Salmonella* sp.

ABSTRACT

Name : Winny Laura Christina Hutagalung
Study Program : Environmental Engineering
Title : The Effect of Agitation To Number of *Fecal coliform* and *Salmonella* sp In Compost From Sludge Drying Bed at Kalimulya Waste Water Treatment Plant, City of Depok

Sludge that is coming from sludge drying bed in Kalimulya Waste Water Treatment Plant City of Depok was used as soil fertilizer by community nearby. In fact, these sludge do not meet with standard as soil fertilizer and requires other treatment to improve its quality. This research was conducted to treat this sludge by open windrow composting method. This sludge was mixed with organic waste from traditional market. Composting is an exothermic process that is produced heat. The temperature increased due to the heat was measured during process takes place. There are two different turning frequencies performed which are every two and four days. The compost quality parameters that is examined are *Fecal coliform* and *Salmonella* sp. SNI No. 19-7030-2004 – Specification of The Domestic Organic Waste Composting was used as a base for compost quality standard.

The result shows that four days turning frequency could reach highest temperature at approximately 66.4⁰C. Meanwhile, two days frequency only could reach highest temperature approximately 65.2⁰C. The average number of *Fecal coliform* at day 15 is approximately 23 MPN/gr and *Salmonella* sp at day 30 is not more than 2 MPN/4gr. Composting could reduce the number of both bacteria. However, bacterial regrowth occurred and significantly indicated by number of *Fecal coliform* that increased at day 30 and 40, those are 30 MPN/gand 300 MPN/g. The matured compost is not only seen from its microbial quality, but also temperature, volume reduction, odor, color, and texture stability. In general, the compost quality did not show significant difference between two and four days turning frequency. But, four days turning frequency is preffered for effectivity and keeping temperature high during composting.

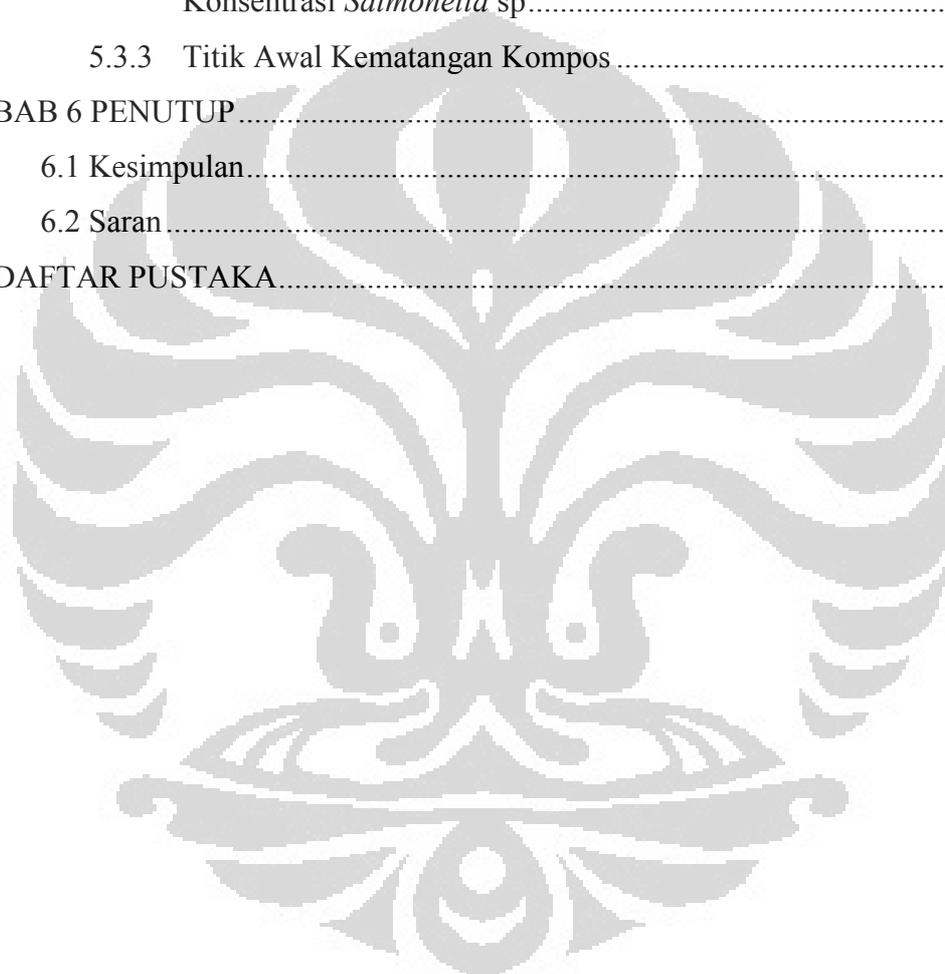
Key words: Windrow composting method, septage, *Fecal coliform*, *Salmonella* sp., regrowth bacteria

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSYARATAN ORISINILITAS	v
<i>STATEMENT OF AUTHENTICITY</i>	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
<i>STATEMENT OF LEGITIMATION</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	xi
<i>STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT PUBLICATION FOR ACADEMIC PURPOSES</i>	xii
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xix
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 STUDI KEPUSTAKAAN	7
2.1 Kerangka Teori.....	7
2.1.1 Pengertian Lumpur Tinja	7
2.1.2 Pengertian Pengomposan.....	11
2.1.3 Fase Pengomposan.....	14
2.1.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pengomposan	15

2.1.5	Mikroorganisme Dalam Pengomposan.....	21
2.1.6	<i>Fecal Coliform</i>	24
2.1.7	<i>Salmonella sp.</i>	26
2.1.8	Pengaruh Pengomposan Terhadap Keberadaan Bakteri Patogen.....	27
2.1.9	Kematangan Kompos.....	29
2.1.10	Standar Kompos di Indonesia.....	30
2.2	Kerangka Berpikir.....	31
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		34
3.1	Pendekatan Penelitian	34
3.2	Variabel Penelitian	34
3.3	Populasi dan Sampel	35
3.3.1	Persiapan Penelitian	35
3.3.2	Metode Pengomposan.....	35
3.3.3	Komposisi Pengomposan.....	36
3.3.4	Tempat Pengomposan.....	37
3.3.5	Sampel Penelitian	38
3.3.6	Metode Pengukuran	39
3.4	Data dan Analisis Data.....	40
3.4.1	Teknik Analisis Data	41
3.5	Lokasi Penelitian.....	42
3.6	Waktu Penelitian.....	42
BAB 4 GAMBARAN UMUM LOKASI KEGIATAN PENELITIAN.....		44
4.1	Instalasi Pengolahan Limbah Terpadu (IPLT) Kalimulya Depok	44
4.2	UPS Pasar Kemiri Muka Depok	48
BAB 5 HASIL DAN ANALISIS DATA.....		51
5.1	Percobaan Pengomposan.....	51
5.2	Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan Terhadap Suhu Kompos....	55
5.2.1	Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan 2 Hari Terhadap Suhu Kompos.....	56
5.2.2	Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan 4 Hari Terhadap Suhu Kompos.....	58

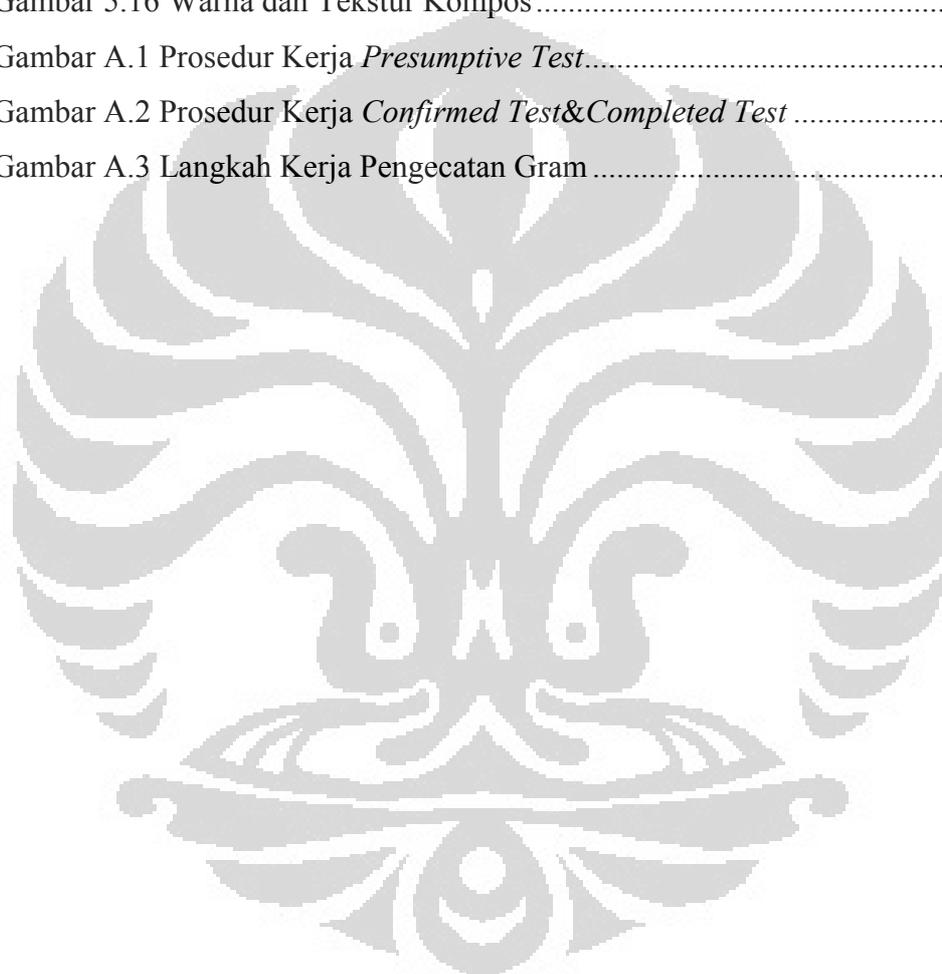
5.2.3 Analisis Perbandingan Frekuensi Pengadukan Terhadap Suhu	59
5.3 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan Terhadap Parameter Mikrobiologis Kompos.....	63
5.3.1 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan Terhadap Konsentrasi <i>Fecal coliform</i>	64
5.3.2 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan Terhadap Konsentrasi <i>Salmonella</i> sp.....	69
5.3.3 Titik Awal Kematangan Kompos	71
BAB 6 PENUTUP	76
6.1 Kesimpulan.....	76
6.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	79



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses Pengomposan	12
Gambar 2.2. Pengomposan Sistem <i>Open Windrow</i>	12
Gambar 2.3 Skema Sistem Pengomposan <i>Aerated Static Pile</i>	13
Gambar 2.4 Pengomposan Sistem <i>In-Vessel</i>	13
Gambar 2.5 Grafik Temperatur Selama Fase Pengomposan.....	15
Gambar 2.6 Hubungan Suhu dan Frekuensi Pengadukan	18
Gambar 2.7 Grafik Hubungan Umur Kompos dan Suhu	19
Gambar 2.8 Zona Pengomposan Metode <i>Open Windrow</i>	20
Gambar 2.9 Grafik Hubungan Umur Kompos dan pH.....	20
Gambar 2.10 Grafik Hubungan Suhu dan Waktu Tumbuh Organisme	22
Gambar 2.11 Bakteri <i>Fecal coliform</i>	26
Gambar 2.12 Bakteri <i>Salmonella sp</i>	29
Gambar 2.13 Kerangka Konsep Penelitian	33
Gambar 3.1 Komposter	37
Gambar 4.1 Lokasi IPLT Kalimulya.....	45
Gambar 4.2 Aliran Proses Pengolahan di IPLT Kalimulya Depok.....	46
Gambar 4.3 Bagan Pengolahan Lumpur Tinja di IPLT Kalimulya	47
Gambar 4.4 Lumpur Tinja yang dibuang ke <i>Sludge Drying Bed</i>	48
Gambar 4.5 Lokasi Pasar Kemiri Muka.....	49
Gambar 4.6 UPS Pasar Kemiri Muka.....	50
Gambar 5.1 Alat Pencacah	51
Gambar 5.2 Pengukuran Suhu.....	53
Gambar 5.3 <i>Layout</i> Rumah Kompos FMIPA UI Tampak Atas	54
Gambar 5.4 <i>Layout</i> Rumah Kompos FMIPA UI Tampak Depan	54
Gambar 5.5 Percobaan Pengomposan	55
Gambar 5.6 Grafik Suhu Kompos untuk Frekuensi Pengadukan 2 hari	56
Gambar 5.7 Grafik Suhu Kompos untuk Frekuensi Pengadukan 4 hari	58
Gambar 5.8 Grafik Suhu Kompos Bagian Atas	59
Gambar 5.9 Grafik Suhu Kompos Bagian Tengah.....	60
Gambar 5.10 Grafik Suhu Kompos Bagian Bawah	61

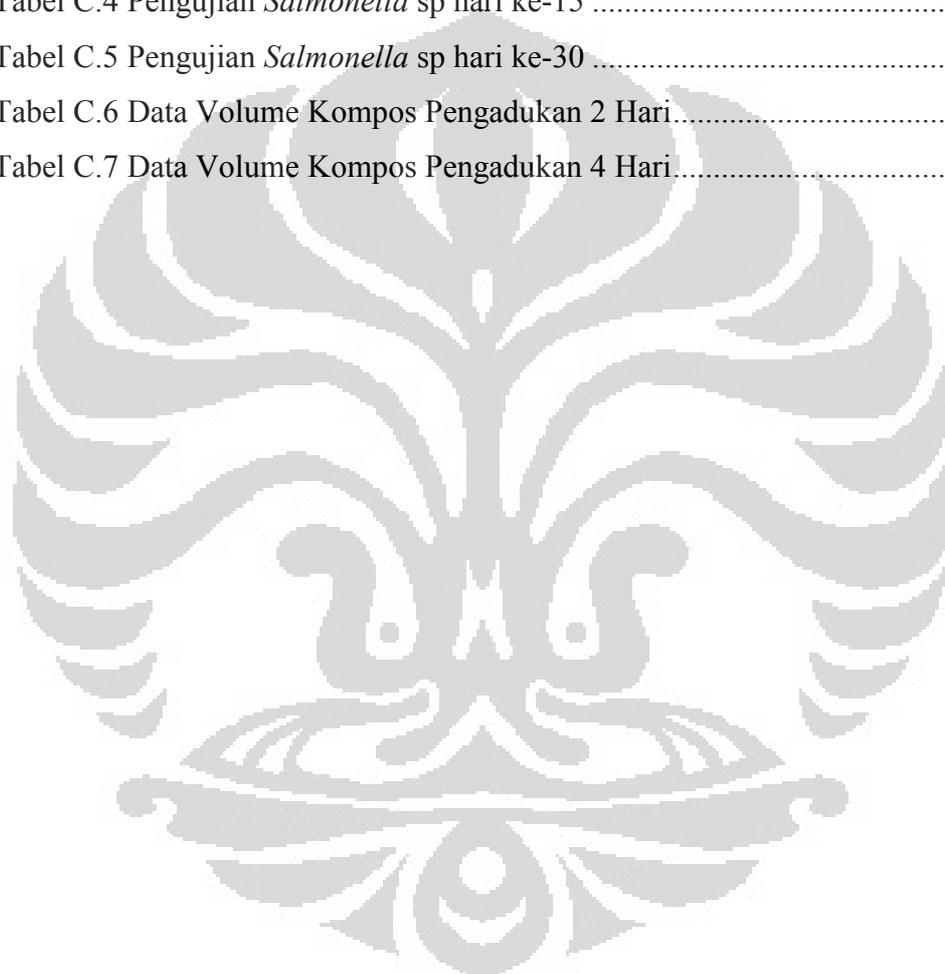
Gambar 5.11 Grafik Suhu dan Konsentrasi <i>Fecal coliform</i> Kompos Frekuensi Pengadukan 2 Hari	64
Gambar 5.12 Grafik Suhu dan Konsentrasi <i>Fecal coliform</i> Kompos Frekuensi Pengadukan 4 Hari	65
Gambar 5.13 Bakteri pada Kompos	68
Gambar 5.14 Bakteri Gram Negatif <i>Escherichia coli</i>	69
Gambar 5.15 Grafik Reduksi Volume Kompos	72
Gambar 5.16 Warna dan Tekstur Kompos	75
Gambar A.1 Prosedur Kerja <i>Presumptive Test</i>	88
Gambar A.2 Prosedur Kerja <i>Confirmed Test & Completed Test</i>	90
Gambar A.3 Langkah Kerja Pengecatan Gram	94



DAFTAR TABEL

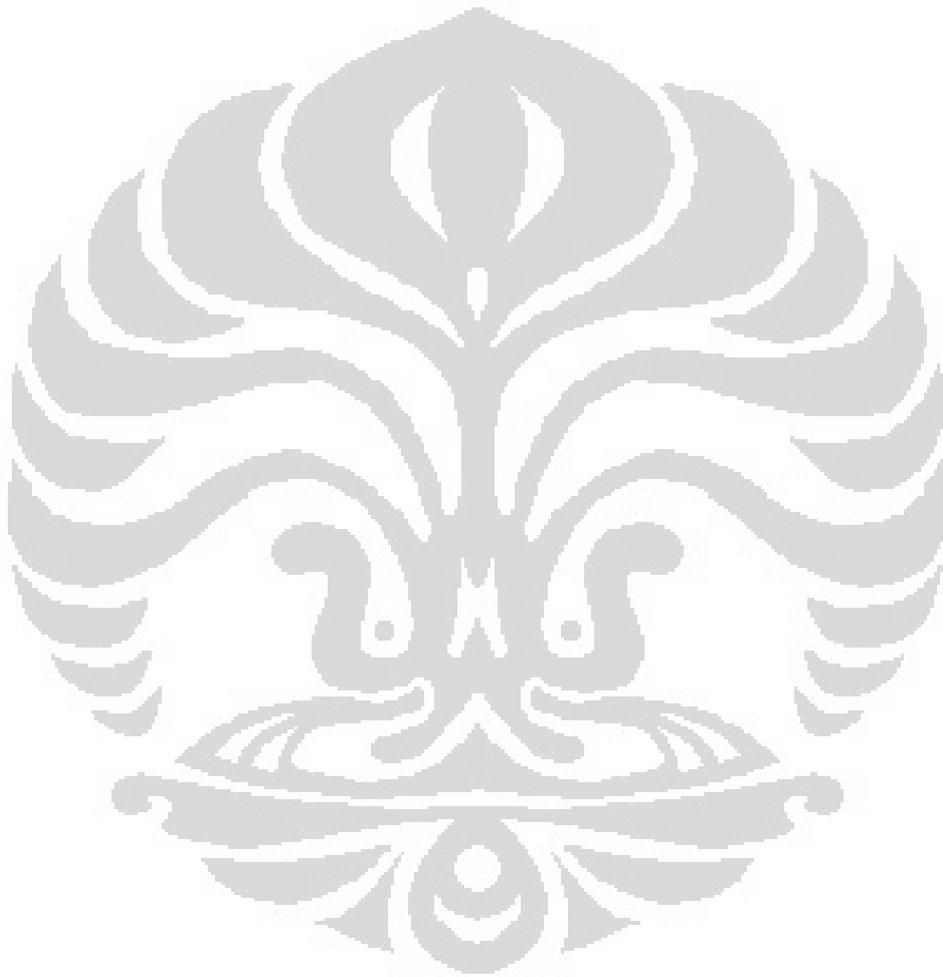
Tabel 2.1 Karakteristik Fisika Kimia Lumpur Tinja	7
Tabel 2.2 Karakteristik Bahan Logam Lumpur Tinja	8
Tabel 2.3 Karakteristik Bahan Organik Lumpur Tinja	8
Tabel 2.4 Kandungan Mikroorganisme Dalam 1 gr Feses	9
Tabel 2.5 Bakteri Dalam Air Kemih	9
Tabel 2.6 Karakteristik Lumpur Tinja IPLT Semarang	11
Tabel 2.7 Perbedaan Proses Pengomposan Aerobik dan Anaerobik.....	14
Tabel 2.8 Mikroorganisme Dalam Kompos	22
Tabel 2.9 Mikroorganisme dan Temperatur Tumbuh	23
Tabel 2.10 Klasifikasi Mikroorganisme Dalam Kompos.....	23
Tabel 2.11 Karakteristik <i>Fecal coliform</i> Bukan Spora.....	26
Tabel 2.12 Suhu dan Waktu Pemusnahan Bakteri Patogen	28
Tabel 2.13 Suhu untuk Membunuh <i>Escherichia coli</i>	28
Tabel 2.14 Suhu untuk Membunuh <i>Salmonella</i> sp.....	28
Tabel 2.15 Reduksi Volume Kompos	30
Tabel 2.16 SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik.....	31
Tabel 3.1 Karakteristik Lumpur Tinja IPLT Kalimulya	36
Tabel 3.2 Karakteristik Sampah Pasar Kota Depok.....	36
Tabel 3.3 Jumlah Komposter.....	38
Tabel 3.4 Data Penelitian	41
Tabel 3.5 Waktu Pelaksanaan Penelitian	43
Tabel 4.1 Total Lumpur Tinja IPLT Kalimulya.....	45
Tabel 4.2 Data Pasar Tradisional di Kota Depok.....	48
Tabel 5.1 Suhu Kompos	61
Tabel 5.2 Suhu Selama Pengomposan	62
Tabel 5.3 Suhu Kompos Saat Hujan	63
Tabel 5.4 Hasil Pengujian <i>Salmonella</i> sp Frekuensi Pengadukan 2 Hari	69
Tabel 5.5 Hasil Pengujian <i>Salmonella</i> sp Frekuensi Pengadukan 4 Hari	70
Tabel A.1 <i>Most Probable Number</i> (MPN).....	91

Tabel A.2 SNI 19-7030-2004 Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik	92
Tabel B.1 Data Suhu Kompos Frekuensi Pengadukan 2 Hari	96
Tabel B.2 Data Suhu Kompos Frekuensi Pengadukan 4 Hari	97
Tabel C.1 Hasil Pengujian <i>Fecal coliform</i> Frekuensi Pengadukan 2 Hari	99
Tabel C.2 Hasil Pengujian <i>Fecal coliform</i> Frekuensi Pengadukan 4 Hari	99
Tabel C.3 Pengujian <i>Salmonella</i> sp hari ke-0	99
Tabel C.4 Pengujian <i>Salmonella</i> sp hari ke-15	100
Tabel C.5 Pengujian <i>Salmonella</i> sp hari ke-30	100
Tabel C.6 Data Volume Kompos Pengadukan 2 Hari	100
Tabel C.7 Data Volume Kompos Pengadukan 4 Hari	100



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pengukuran Suhu Kompos, Langkah Kerja Metode <i>Multiple-tube Fermentation (MTF)</i> dan Pewarnaan Gram.....	86
Lampiran 2	Data Suhu Kompos	95
Lampiran 3	Data Pengujian Mikrobiologis dan Volume Kompos.....	98



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari, segala aktivitas manusia pasti menghasilkan limbah atau buangan, baik dalam bentuk gas, cair, maupun padat. Bahkan, dalam proses biologis yang terjadi di dalam tubuh, manusia mengeluarkan sisa pencernaan berupa feses. Menurut Sugiharto (1987) dalam Pramudiarja (2011), setiap orang memberikan kontribusi limbah tinja sebesar 0,2 kg/hari. Dengan jumlah penduduk Indonesia berdasarkan hasil Sensus Penduduk Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2010 yang mencapai ±237 juta jiwa, maka dalam satu hari ada 47,4 juta kg feses yang dihasilkan.

Sampai saat ini, penanganan feses di Indonesia bermacam-macam, ada yang dibuang ke sungai, dikubur di dalam tanah, dan pada umumnya menggunakan sistem *on-site*. Menurut Direktorat Jenderal Cipta Karya (2007), sistem pengelolaan air limbah setempat (*on-site system*) adalah sistem penanganan air limbah domestik yang dilakukan secara individual dan/atau komunal dengan fasilitas dan pelayanan dari satu atau beberapa bangunan, yang pengolahannya diselesaikan secara setempat atau di lokasi sumber. Data dari BPS tahun 2010 menunjukkan persentase rumah tangga yang memiliki sanitasi layak di perkotaan mencapai 72,78% dan di pedesaan 38,47%. Konsep sanitasi layak di sini adalah telah memiliki fasilitas tempat buang air besar secara sendiri atau bersama, jenis kloset adalah leher angsa, dan tempat pembuangan akhir tinja adalah menggunakan tangki. Selanjutnya, lumpur tinja dari dalam tangki septik akan disedot dan dibuang ke instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT).

Purwanto (2011) dalam Ringkasan Sejarah Sanitasi Indonesia 1607-2011 menuliskan bahwa IPLT di Indonesia sudah ada sejak tahun 1982. IPLT yang pertama kali dibangun adalah IPLT Karawaci. Tahun 1995, pembangunan IPLT semakin digalakkan. Namun saat ini, kondisi 150 IPLT di Indonesia tidak berfungsi dengan baik. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan biaya operasional dan pemeliharaan, ketidakjelasan institusi pengelola air limbah di daerah, kerusakan fisik bangunan IPLT karena usia, dan minimnya lumpur tinja yang masuk ke

instalasi. Walaupun banyak permasalahan terkait kondisi IPLT di Indonesia, tetapi IPLT sangat dibutuhkan untuk mengolah lumpur tinja. Lumpur tinja harus diolah karena berpotensi sebagai tempat tumbuh berbagai virus penyebab penyakit, bakteri dan parasit (Purwanti, et. al., 2003).

Di Kota Depok terdapat instalasi pengolahan limbah terpadu yang terletak di Kalimulya, Kecamatan Cilodong. IPLT Kalimulya memiliki luas lahan sebesar 2,1 Ha (Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Depok, 2011). Jumlah truk pengangkut tinja yang dimiliki sebanyak 8 unit, namun 1 unit saat ini sedang mengalami kerusakan. Pengolahan yang diaplikasikan di IPLT Kalimulya adalah mengendapkan lumpur tinja dari truk tinja di beberapa unit kolam yang terdiri dari 4 bagian, yakni kolam yang pertama adalah *imhoff tank*, kolam maturasi, kolam indikator 1 dan kolam indikator 2. Tiap-tiap kolam pengendapan tersebut dikuras secara berkala. *Effluent* dari IPLT dalam fase cair langsung dialirkan dan dibuang ke Kali Ciliwung, sedangkan *effluent* dalam fase padat dan cair (lumpur) dibuang ke sebuah tanggul (*sludge drying bed*) yang letaknya di dekat IPLT. *Sludge drying bed* yang berada di dekat IPLT tidak memiliki penutup di atasnya sehingga lumpur tersebut langsung dapat dijemur karena langsung terkena sinar matahari. Lumpur inilah yang langsung diambil oleh warga masyarakat sekitar IPLT dan digunakan sebagai penyubur tanah/pupuk. Hal ini sangat mengkhawatirkan karena lumpur tersebut diduga masih banyak mengandung bakteri *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp. Jika lumpur langsung digunakan, maka dapat mengakibatkan penyebaran bibit penyakit oleh bakteri patogen tersebut.

Untuk mengatasi permasalahan yang ada di IPLT Kalimulya, perlu dilakukan penelitian sebagai usaha untuk menemukan pengolahan lanjutan dari lumpur sisa pengolahan instalasi lumpur tinja yang telah ditampung dalam *sludge drying bed*. Metode pengolahan yang digunakan adalah pengomposan. Metode ini diharapkan dapat mengurangi kandungan bakteri *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp.

1.2 Rumusan Masalah

IPLT merupakan tempat untuk mengolah lumpur tinja dari dalam *septic tank*. *Effluent* dari pengolahan IPLT yang berupa cairan langsung dibuang ke

sungai, sedangkan *effluent* berupa lumpur dibuang ke sebuah tanggul (*sludge drying bed*) di dekat IPLT. Pihak pengelola IPLT merasa sudah cukup melakukan penanganan terhadap *effluent* dari pengolahan lumpur tinja. Padahal, masyarakat sekitarnya menggunakan lumpur yang dibuang ke *sludge drying bed* sebagai penyubur tanah atau kompos.

Lumpur di *sludge drying bed* dijemur di bawah sinar matahari. Kondisi ini seharusnya mengakibatkan berkurangnya kadar air lumpur dan suhu lumpur meningkat sehingga dapat membunuh atau menurunkan jumlah bakteri yang terkandung di dalamnya. Namun, pada kenyataannya kondisi lingkungan tidak selalu seperti yang diharapkan. Kondisi lingkungan yang lembab dan intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah tiap harinya menyebabkan penanganan lumpur ini menjadi tidak sempurna. Penanganan yang dilakukan di IPLT Kalimulya akan mempengaruhi kualitas lumpur tinja. Dengan penanganan yang ada saat ini, kandungan kadar air, karbon, nitrogen dan mikrobiologis lumpur tinja tidak sesuai dengan SNI 19-7030-2004 mengenai Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Dengan kualitas tersebut, maka lumpur sisa hasil pengolahan IPLT belum layak untuk dijadikan kompos. Diperlukan proses-proses lain yang dapat memperbaiki kualitas kompos, khususnya untuk membunuh bakteri patogen yang terkandung di dalamnya. Proses tersebut diantaranya adalah melakukan proses pengomposan terhadap lumpur tinja yang dicampur dengan bahan organik lain dan sistem pengomposan tersebut harus mencapai suhu tertentu untuk membunuh bakteri patogen. *Fecal coliform* dapat mati pada suhu 55⁰C, sedangkan bakteri *Salmonella* sp mati pada suhu 65⁰C.

Dalam proses pengomposan, sistem yang paling cepat untuk menaikkan suhu kompos adalah dengan sistem anaerobik, namun sistem ini akan menimbulkan bau yang tidak sedap. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan proses pengomposan dengan sistem aerobik, yakni dengan frekuensi pengadukan yang ditentukan. Padahal, suplai oksigen melalui pengadukan dapat memperlambat kenaikan suhu, bahkan dapat memungkinkan tidak tercapainya suhu 65⁰C selama pengomposan.

Berdasarkan uraian tersebut, maka pertanyaan penelitian yang diajukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh frekuensi pengadukan terhadap suhu yang dicapai selama proses pengomposan?
- b. Bagaimana pengaruh frekuensi pengadukan terhadap kualitas kompos secara mikrobiologis dengan parameter *Fecal coliform*?
- c. Bagaimana pengaruh frekuensi pengadukan terhadap kualitas kompos secara mikrobiologis dengan parameter *Salmonella* sp?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Mengetahui pengaruh frekuensi pengadukan terhadap suhu yang dicapai selama proses pengomposan
- b. Mengetahui pengaruh frekuensi pengadukan terhadap kualitas kompos secara mikrobiologis dengan parameter *Fecal coliform*
- c. Mengetahui pengaruh frekuensi pengadukan terhadap kualitas kompos secara mikrobiologis dengan parameter *Salmonella* sp
- d. Menentukan frekuensi pengadukan dalam percobaan pengomposan yang efektif untuk menghasilkan kompos dan lumpur tinja *sludge drying bed* di IPLT Kalimulya Depok agar memenuhi standar baku mutu mikrobiologis sesuai SNI 19-7030-2004 mengenai Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka manfaat yang dapat diberikan melalui penelitian ini adalah:

- a. Bagi ilmu pengetahuan, dapat memecahkan permasalahan dari *effluent* pengolahan limbah cair domestik, yakni pengolahan lebih lanjut lumpur tinja dari *sludge drying bed* instalasi pengolahan lumpur tinja
- b. Bagi IPLT Kalimulya Depok, dapat memberikan alternatif pengolahan lumpur tinja yang dibuang ke *sludge drying bed* di samping IPLT untuk dijadikan sebagai bahan campuran dalam percobaan pengomposan

- c. Bagi masyarakat, dapat memberikan saran percobaan pengomposan lumpur tinja yang baik dilihat dari sistem pengadukan untuk mengurangi jumlah bakteri patogen dalam kompos
- d. Meningkatkan kualitas sanitasi lingkungan bagi pengguna kompos lumpur tinja

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah:

- a. Parameter kualitas mikrobiologis yang digunakan adalah jumlah *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp
- b. Metode yang dipakai dalam dalam pengomposan ini adalah *open windrow*
- c. Pencampuran sampah organik, yaitu sampah pasar sebagai *feedstock* dalam percobaan pengomposan digunakan untuk mengurangi kadar air lumpur tinja yang cukup tinggi
- d. Kriteria kematangan kompos yang digunakan hanya berdasarkan volume, bau, warna dan tekstur kompos

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan skripsi ini adalah:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB 2 Studi Kepustakaan

Studi kepustakaan berisi pengertian yang terkait dengan penelitian ini. Dalam bab ini juga akan dijelaskan kerangka konsep penelitian.

BAB 3 Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai persiapan untuk melakukan penelitian secara jelas dan detail, serta pengolahan data.

BAB 4 Gambaran Umum Lokasi Kegiatan Penelitian

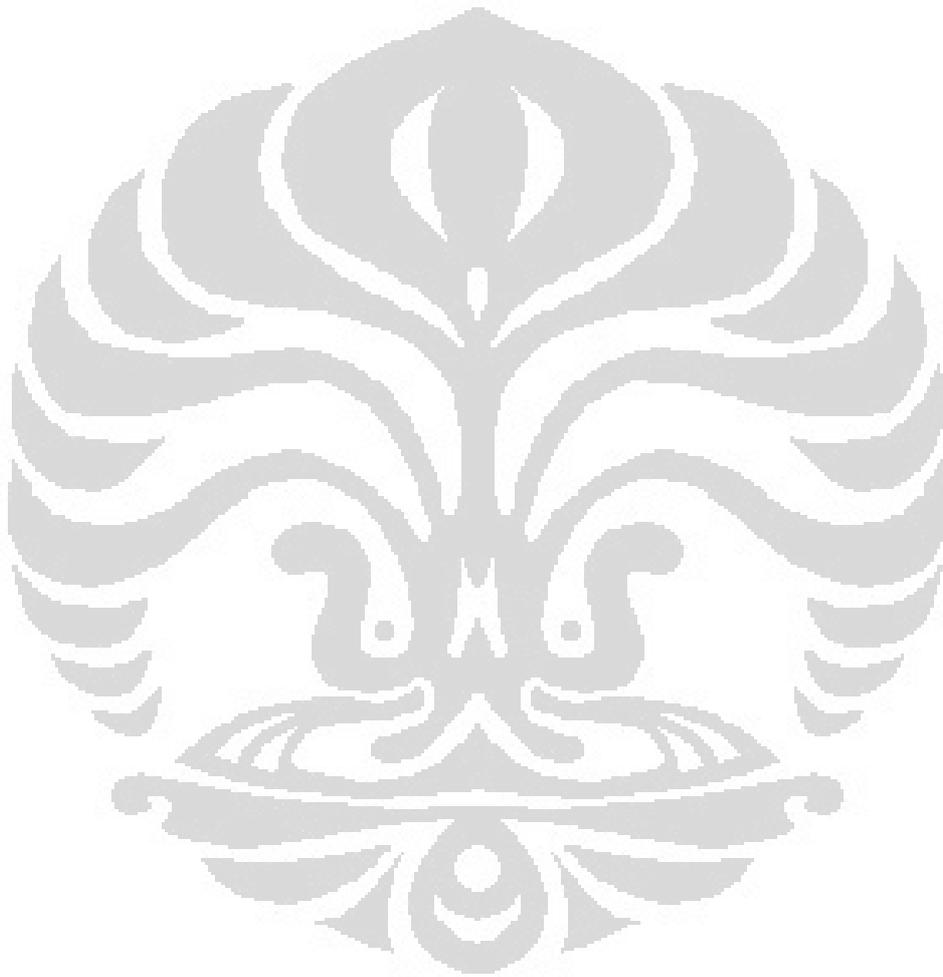
Bab ini menjelaskan mengenai lokasi-lokasi tempat melakukan kegiatan penelitian, khususnya lokasi tempat pengambilan *feedstock* kompos

BAB 5 Hasil Dan Analisis Data

Bab ini akan membahas dan menganalisis hasil dari pemeriksaan laboratorium.

BAB 6 Penutup

Bab terakhir akan menyimpulkan penelitian ini secara keseluruhan sekaligus memberikan saran untuk kelanjutan penelitian yang sama supaya bisa menghasilkan hal-hal yang lebih baik.



BAB 2

STUDI KEPUSTAKAAN

2.1 Kerangka Teori

2.1.1 Pengertian Lumpur Tinja

Lumpur tinja (*septage*) adalah material berupa padatan dan cairan yang merupakan hasil pemompaan dari tangki septik. Material yang terkandung dalam lumpur tinja berupa padatan zat-zat organik, lemak/minyak, pasir (grit) yang berpotensi sebagai tempat tumbuh berbagai virus penyebab penyakit, seperti bakteri dan parasit. Kandungan zat organik dalam lumpur tinja yang masih tinggi menyebabkan perlunya pengolahan (*treatment*) terhadap lumpur tinja. Bila lumpur tinja langsung diaplikasikan ke tanah, maka akan berbahaya bagi tanah, tumbuhan, hewan, dan manusia (Purwanti, et al., 2003). Menurut beberapa literatur, lumpur tinja memiliki beberapa karakteristik, yaitu:

- a. Karakteristik fisika dan kimia

Tabel 2.1 Karakteristik Fisika Kimia Lumpur Tinja

Karakteristik	Konsentrasi (mg/L)		
	Rata-rata	Minimum	Maksimum
Total <i>Solid</i>	34.106	1.132	130.475
Total <i>Volatile Solid</i>	23.100	353	71.402
Total <i>Suspended Solid</i>	12.862	310	93.378
<i>Volatile Suspended Solid</i>	9.027	95	51.500
<i>Biochemical Oxygen Demand</i>	6.480	440	78.600
<i>Chemical Oxygen Demand</i>	31.900	1.500	703.000
Total <i>Kjeldahl</i> Nitrogen	588	66	1.060
Ammonia Nitrogen	97	3	116
Total <i>Phosphorus</i>	210	20	760
Alkalinitas	970	522	4.190
Lemak	5.600	208	23.368
pH	-	1,5	12,6

Sumber: U.S. Environment Protection Agency, 1994

b. Karakteristik bahan logam

Tabel 2.2 Karakteristik Bahan Logam Lumpur Tinja

Parameter	Konsentrasi (mg/L)		
	Rata-rata	Maksimum	Minimum
Besi	39,3	0,2	2,74
Sink	9,97	<0,001	444
Mangan	6,09	0,55	17,1
Barium	5,76	0,002	202
Tembaga	4,84	0,01	261
Timah hitam	1,21	<0,025	118
Nikel	0,526	0,01	37
Kromium	0,49	0,01	34
Sianida	0,469	0,001	1,53
Kobalt	0,406	<0,003	3,45
Arsenik	0,141	0	3,5
Perak	0,099	<0,003	5
Kadmium	0,097	0,005	8,1
Timah	0,076	<0,015	1
Merkuri	0,005	0,0001	0,742

Sumber: U.S. Environment Protection Agency, 1994

c. Karakteristik bahan organik

Tabel 2.2 Karakteristik Bahan Organik Lumpur Tinja

Parameter	Konsentrasi (mg/L)		
	Rata-rata	Minimum	Maksimum
Metil alkohol	15,8	1	396
Isopropil alkohol	14,1	1	391
Aseton	10,6	0	210
Metil etil keton	3,65	1	240
Toluen	0,17	0,005	1,95
Metilen klorida	0,101	0,005	2,2
Etil benzen	0,067	0,005	1,7
Benzene	0,062	0,005	3,1
Xylene	0,051	0,005	0,72

Sumber: U.S. Environment Protection Agency, 1994

d. Karakteristik mikroorganisme

Unit pengolahan lumpur tinja juga memperhitungkan kandungan mikroorganisme di dalamnya. Adapun jenis kuman yang sering ditemukan dalam tiap gram feses adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Mikroorganisme Dalam 1 gr Feses

Jenis	Jumlah
<i>Salmonella</i> sp	1 juta
<i>Vibrio kolera</i>	1 juta
<i>Virus poliomeylitis</i>	1 juta
<i>Amoeba</i>	10.000
<i>Escherichia coli</i>	1 miliar

Sumber: Pramudiarja, 2011

Mikroorganisme yang terkandung dalam lumpur tinja, yang banyak diketahui oleh masyarakat luas adalah *Salmonella* sp dan *Escherichia coli*. Keduanya merupakan bakteri Gram negatif. Bakteri ini banyak mengakibatkan berbagai jenis penyakit dalam tubuh manusia. Namun, di dalam feses juga bisa terkandung bakteri Gram positif yang berasal dari air kemih. Air kemih ini bisa tercampur bersama-sama dengan feses di dalam *septic tank*. Menurut Anwar (2008), bakteri Gram positif yang terkandung dalam hampir sama banyaknya dengan bakteri Gram negatif. Hasil penelitian tersebut disajikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Bakteri Dalam Air Kemih

No.	Bakteri	Jenis Bakteri	Total	Persentase
1.	<i>Staphylococcus aerus</i>	Gram positif	38	31,66
2.	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	Gram positif	18	15,00
3.	<i>Escherichia coli</i>	Gram negatif	42	35,00
4.	<i>Proteus vulgaris</i>	Gram negatif	12	10,00
5.	<i>Proteus mirabilis</i>	Gram negatif	8	6,66
6.	<i>Margenella morgani</i>	Gram negatif	2	1,68

Sumber: Anwar, 2008

Karakteristik-karakteristik lumpur tinja, seperti: fisika dan kimia, bahan logam, bahan organik, dan mikroorganisme menunjukkan nilai atau jumlah yang tinggi dan belum memenuhi kriteria untuk dapat diaplikasikan sebagai penyubur tanah. Oleh karena itu, ada beberapa metode pengolahan lumpur tinja, antara lain:

- a. Lumpur tinja dibuat di suatu tempat. Pengolahannya adalah untuk mengurangi bau, patogen, dan vektor pembawa penyakit. Dalam metode ini, mobil truk digunakan untuk membawa lumpur tinja yang selanjutnya akan diletakkan di lahan sebagai penutup permukaan. Keuntungannya

adalah sederhana, terjangkau secara ekonomi, dan menggunakan sedikit energi. Namun, kerugiannya adalah memerlukan lahan yang relatif besar.

- b. Pengolahan di instalasi, yaitu dengan unit-unit pengolahan yang akan dibuat berdasarkan volume lumpur tinja yang akan diolah. Keuntungannya adalah instalasi pengolahan mampu untuk menangani lumpur tinja, operasi pengolahan limbah yang tersentralisasi. Sedangkan kerugiannya adalah kesulitan dalam mengontrol materi tambahan yang terkandung dalam lumpur tinja yang dapat merusak instalasi dan meningkatnya residu dari penanganan lumpur tinja.
- c. Pengolahan secara swadaya oleh masyarakat. Dalam pengolahan ini hal yang perlu diperhatikan adalah residu dari pengolahan harus dibuang di tempat yang benar.
- d. Pengolahan lumpur tinja dengan proses pengomposan. pengomposan dilakukan dengan mencampurkan material lain seperti serbuk gergaji. Dalam proses ini, aktivitas mikroorganisme akan menghasilkan suhu yang tinggi yang mampu membunuh bakteri patogen. Hasil pengomposan dapat diaplikasikan pada tanah. Pengomposan juga mampu mengontrol bau dan biayanya pun terjangkau.

Di Indonesia, lumpur tinja yang telah disedot dari *septic tank*, umumnya diolah di tempat pengolahan yang disebut Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Pengolahan tersebut dimaksudkan agar lumpur tinja tidak mencemari lingkungan sekitar terutama badan air. Setelah diolah, lumpur tinja dari unit pengolahan dapat dibuang atau digunakan kembali dengan cara:

- Membuang langsung ke badan air terdekat setelah lumpur terolah dan tidak berbahaya bagi lingkungan
- Dibuat kompos dan dimanfaatkan untuk pemupukan
- Dikubur (untuk volume tinja yang sedikit) dengan menggunakan lapisan-lapisan penutup dan kondisi tanahnya memungkinkan
- Dibuang ke kolam pengering (*sludge drying bed*)

Penelitian mengenai lumpur tinja di Indonesia pernah dilakukan oleh Oktiawan et. al., (2007) yang melakukan usaha optimalisasi instalasi pengolahan lumpur tinja dengan pengomposan lumpur tinja (studi kasus: IPLT Semarang). Data dari hasil penelitian kemudian dibandingkan dengan standar Kompos menurut SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Pasar dan diperoleh data seperti berikut:

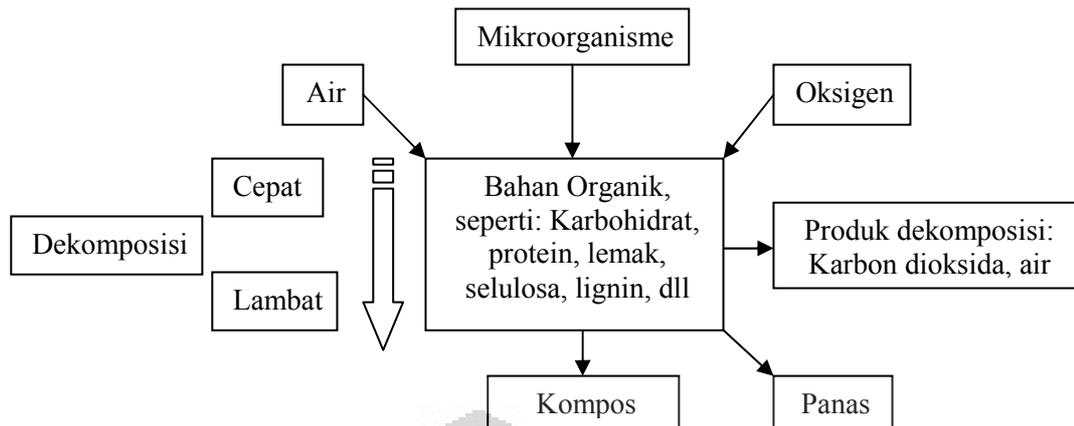
Tabel 2.6 Karakteristik Lumpur Tinja IPLT Semarang

Parameter	Lumpur Pengeringan (hari)				Standar Kompos
	3	7	10	30	
Suhu ($^{\circ}$ C)	30,9	30,0	27,8	30,0	\pm 30,0
pH	7,28	7,23	6,84	6,43	6,8 – 7,49
Kadar air (%)	85,41	82,90	80,60	51,62	50-60
C (%)	30,40	30,29	29,85	15,62	9,8-32
N (%)	2,91	2,94	2,96	1,5	\geq 0,4
Rasio C/N	10,44	10,32	10,09	10,41	10-20
P (%)	7,52	7,33	7,02	6,45	\geq 0,10

Sumber: Oktiawan, et. al., 2007

2.1.2 Pengertian Pengomposan

Pengomposan dalam bahasa Inggris disebut *composting*, berasal dari bahasa Latin *compositum*, yang artinya campuran. Secara lebih spesifik, diartikan sebagai proses degradasi secara biologis dari campuran substrat yang terkandung di dalamnya oleh mikroba dalam kondisi aerobik, maupun anaerobik. Substrat tersebut adalah bahan-bahan organik, seperti: karbohidrat, protein, lemak, selulosa, lignin, dll. Beberapa faktor yang penting dalam pengomposan adalah mikroorganisme, oksigen, dan kelembaban. Proses pengomposan menjadi cepat atau lambat bergantung pada mikroorganisme dan substrat yang tersedia. Proses yang terjadi selama pengomposan adalah eksoterm, artinya menghasilkan panas atau energi. Hal-hal yang terjadi dalam proses pengomposan, antara lain: melalui dua fase mesofilik dan satu kali fase termofilik dan melepaskan fitotoksin (amonia). Dua tahap dalam proses ini, yaitu tahap dekomposisi dan stabilisasi. Hasil dari akhir pengomposan adalah karbon dioksida, air, mineral, dan kompos. Proses pengomposan ditunjukkan seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Proses Pengomposan

Sumber: Epstein, 1997

Ada tiga sistem dalam pengomposan, yaitu:

- a. *Windrow Composting*, yang merupakan metode pengomposan tertua, pengomposan dengan metode ini cukup mengeluarkan bau yang tidak sedap. Kriteria desain yang ada mengenai metode ini, antara lain: suhu yang dapat dicapai 55°C , kelembaban 50-60 persen. Pengomposan secara sempurna dari tiga sampai empat minggu. Namun, setelah kompos matang, akan dilakukan proses "*curing*", dimana kompos yang telah matang tersebut akan didiamkan tanpa pengadukan selama 3 sampai 4 minggu.

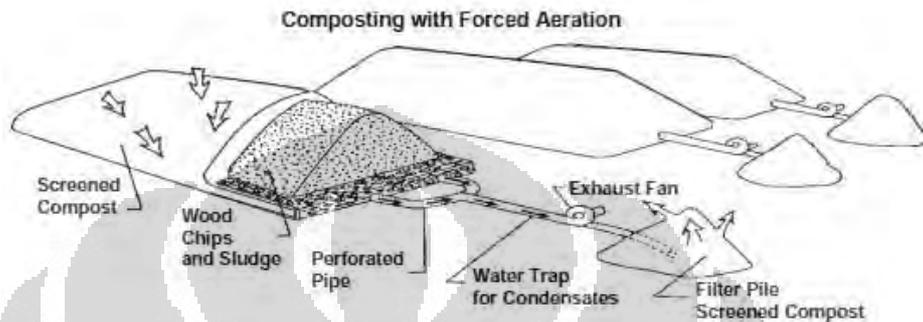


Gambar 2.2. Pengomposan Sistem *Open Windrow*

Sumber: Tchobanoglous, et. al., 2002

- b. *Aerated Static Pile Composting*, metode ini dikembangkan di Amerika. Awalnya metode ini dikembangkan untuk pengomposan lumpur sisa pengolahan air yang kemudian dikembangkan secara meluas untuk

pengomposan bahan organik dan limbah padat. Sistem ini terdiri dari pipa buangan (*exhaust piping*) untuk proses pemecahan organik dari *Municipal Solid Waste*. Untuk mempercepat proses pengomposan dan mengontrol bau, maka diberikan penutup pada *feedstock*-nya.



Gambar 2.3 Skema Sistem Pengomposan *Aerated Static Pile*
 Sumber: Tchobanoglous, et. al.,1993

- c. *In Vessel Composting System*, metode ini terdiri dari dua jenis, yaitu: *plug flow* dan *dynamic*. Sistem ini didesain untuk meminimalkan bau yang akan timbul dan mempercepat waktu proses dengan mengontrol kondisi lingkungan, seperti aliran udara, suhu, dan konsentrasi oksigen. Metode ini banyak digunakan karena dapat meminimalkan bau, biayanya yang rendah, prosesnya cepat, dan hanya membutuhkan lahan yang sempit. Waktu tinggalnya bervariasi dari 1-2 minggu, namun ada juga yang mencapai 12 minggu, waktu ini adalah untuk proses “*curing*” setelah pengomposan.



Gambar 2.4 Pengomposan Sistem *In-Vessel*
 Sumber: Tchobanoglous, et. al.,2002

Ketiga sistem pengomposan tersebut dapat dibedakan menjadi dua prinsip, yaitu:

- a. Agitasi, artinya dalam proses ini dilakukan pengadukan untuk menambah suplai udara ke dalam kompos, untuk mengontrol suhu, dan mencampurkan material supaya dapat tercampur secara merata. Karena adanya penambahan suplai udara, maka dinamakan proses aerobik.
- b. Statis, artinya dalam proses ini tidak dilakukan pengadukan, namun hanya didiamkan saja dan udara yang terdapat dalam kompos hanyalah udara yang dari material kompos. Oleh karena tidak adanya suplai udara dari luar, maka disebut proses anaerobik.

Perbedaan yang mendasar di antara kedua prinsip tersebut adalah adanya pemberian oksigen atau suplai udara terhadap bahan kompos. Berikut adalah perbedaan antara proses aerobik dan anaerobik pada proses pengomposan:

Tabel 2.7 Perbedaan Proses Pengomposan Aerobik dan Anaerobik

Karakteristik	Proses Aerobik	Proses Anaerobik
Penggunaan energi	Menggunakan energi	Menghasilkan energi
Produk	Humus, CO ₂ , H ₂ O	Lumpur, CO ₂ , CH ₄
Pengurangan volume	Lebih dari 50%	Lebih dari 50%
Waktu	20-30 hari	20-40 hari
Tujuan utama	Mengurangi volume	Menghasilkan energi
	Memproduksi kompos	Pengurangan volume

Sumber: Tchobanoglous, et. al., 1993

2.1.3 Fase Pengomposan

Pengomposan terdiri atas tiga fase, yaitu:

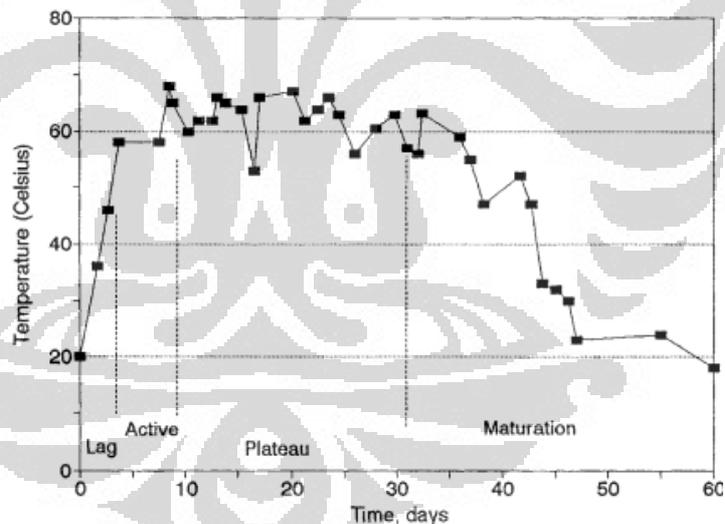
- a. *Initial lag period* (“lag phase”)

Periode ini merupakan waktu untuk mikroorganisme beradaptasi terhadap *feedstock* kompos sesuai dengan karakteristiknya. Mikroorganisme mulai berkembang biak dengan memanfaatkan bahan-bahan organik *feedstock* sebagai nutrisi. Dengan aktivitas mikroorganisme yang meningkat, maka suhu pun menjadi meningkat.
- b. *Exponential growth* (“active phase”)

Dalam fase ini, jumlah mikroorganisme meningkat secara eksponensial dan aktivitasnya terus mendekomposisi *feedstock*. Oleh karena itu, suhu dapat mencapai 70°C atau lebih. Suhu yang dicapai sangat adalah yang paling tinggi di antara fase-fase pengomposan yang lain. Durasi fase ini dapat bertahan selama 5-6 hari atau 2-3 minggu tergantung dari ketersediaan substrat dan kondisi lingkungan yang sesuai. Temperatur yang turun tiba-tiba (*plateau*) selama fase ini dapat diakibatkan oleh kurangnya suplai oksigen, kelembaban yang berlebihan, dan proses pengadukan juga mempengaruhi suhu.

c. *Curing phase* (“*maturation phase*”)

Pada fase ini, material pengomposan semakin berkurang, jumlah mikroorganisme juga berkurang dan suhu semakin turun. Fase maturasi dimulai. Ketiga fase pengomposan ditunjukkan pada gambar grafik di bawah ini.



Gambar 2.5 Grafik Temperatur Selama Fase Pengomposan
 Sumber: Tchobanoglous, et. al., 2002

2.1.4 Faktor-faktor Dalam Pengomposan

Proses pengomposan tidak berjalan begitu saja, namun ada banyak faktor yang mempengaruhi proses pengomposan, antara lain:

a. C/N

Untuk nilai C/N yang optimum dalam memulai pengomposan adalah 25-30. Jika nilai C/N terlalu tinggi, maka aktivitas biologis akan terhambat. Untuk nilai C/N yang lebih rendah dari 20, maka diperlukan pelepasan nitrogen yang cukup besar dari volatilisasi amonia. Proses ini dapat dicapai dengan suhu yang tinggi dan nilai pH dalam rentang 8-9. Pelepasan amonia ini mengeluarkan bau yang tidak sedap dan polusi ke atmosfer, sedangkan pengurangan nitrogen juga menyebabkan berkurangnya kualitas kompos.

Selama proses dekomposisi, mikroorganisme membutuhkan karbon untuk menyediakan energi dan nitrogen untuk pemeliharaan dan pembentukan sel-sel tubuh. Makin banyak kandungan nitrogen, maka makin cepat bahan organik terurai, karena jasad renik yang menguraikan bahan ini memerlukan nitrogen untuk perkembangannya.

Rasio C/N yang terlalu tinggi mengakibatkan proses fermentasi berjalan lambat karena kandungan nitrogen yang rendah, tetapi sebaliknya rasio C/N yang terlalu rendah mengakibatkan terbentuknya amonia sehingga nitrogen akan hilang di udara. Rasio C/N akan mencapai kestabilan saat proses fermentasi berlangsung sekitar lima minggu.

Rasio C/N yang tinggi menunjukkan bahan organik tersebut belum matang dan masih akan mengalami proses dekomposisi oleh mikroorganisme yang menghasilkan panas. Apabila bahan organik yang belum matang digunakan untuk pupuk, maka pertumbuhan tanaman akan terganggu karena mikroorganisme yang menguraikan bahan organik mentah tersebut memerlukan N untuk membangun sel-sel tubuhnya (Gustiani E., Gunawan A., 2010).

Dalam bahan organik yang belum matang, kandungannya rendah sehingga mikroorganisme mengambil N dari tanah. Akibatnya, N tanah yang seharusnya dapat diserap oleh tanaman menjadi berkurang sehingga tanaman kekurangan N. Rasio C/N maksimum yang dianjurkan untuk bahan organik yang matang adalah 15.

b. Luas permukaan dan ukuran partikel

Bahan baku/*feedstock* pengomposan harus dicacah sampai mendapatkan ukuran yang kecil. Ukuran partikel mempengaruhi *bulk density*, gesekan antarpartikel dan *drag force* material. Tujuan dari memperkecil ukuran partikel dalam proses pengomposan aerobik adalah untuk meningkatkan reaksi biokimia. Ukuran yang biasa dibuat adalah kurang dari 5 cm.

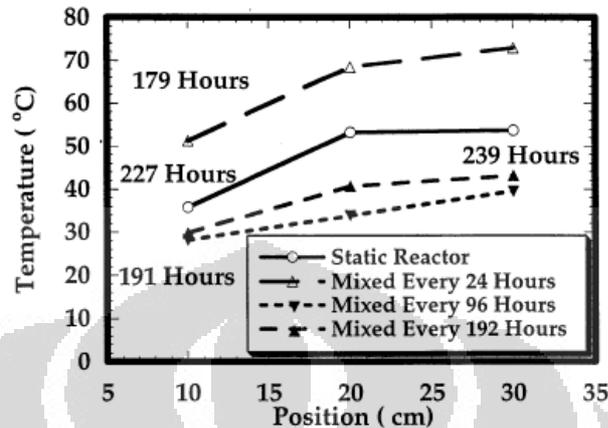
c. Aerasi

Aerasi adalah proses penambahan atau suplai udara. Mekanisme yang digunakan dalam proses aerasi adalah pengadukan. Menurut Haug (1993), udara dalam proses pengomposan memiliki tiga tujuan, yaitu:

- Suplai oksigen untuk proses dekomposisi biologis (kebutuhan stoikiometri)
Kebutuhan oksigen selama proses pengomposan dengan sistem aerobik dapat dihitung berdasarkan komposisi *feedstock* dan hasil akhir. Perhitungannya menggunakan sistem stoikiometri dari kandungan senyawa kimia yang terdapat di dalamnya.
- Mengurangi tingkat kelembaban dari bahan kompos
Kelembaban meningkat secara eksponensial ketika suhu udara meningkat. Padahal, untuk hasil akhir kompos, hanya memiliki kelembaban 30%. Jika pengomposan mencapai suhu termofilik, maka kelembaban dapat dikurangi dengan gas yang keluar. Oleh karena itu, diperlukan pengadukan.
- Mengurangi panas untuk mengontrol temperatur
Reaksi biokimia secara umum meningkatkan suhu secara eksponensial. Untuk mengontrol saat suhu mencapai optimum, maka suplai udara yang banyak dibutuhkan untuk mengurangi panas yang berlebih dalam kompos.

Hubungan aerasi dengan CO₂ dan O₂ yang terkandung dalam bahan kompos adalah bahwa rata-rata CO₂ dan O₂ dalam massa dari bahan yang akan dikomposkan, yaitu kira-kira 20% (CO₂ 0,5-5% dan O₂ sebesar 15-20%) (MacGregor, et al., 1981 dalam Diaz, L.F., Savage, G.M., 2001), maka ketika aktivitas mikroba berkurang, artinya ada perubahan terhadap stabilitas limbah padat dan oksigen yang diperlukan menjadi lebih sedikit setelah melewati fase yang memiliki suhu tinggi. Oleh karena itu, setelah melewati suhu optimum, tidak lagi diperlukan pengadukan yang terlalu sering (Hermann, Shann, 1997). Berikut

adalah gambar yang menunjukkan pengaruh pengadukan terhadap temperatur kompos.



Gambar 2.6 Hubungan Suhu dan Frekuensi Pengadukan

Sumber: Schloss, et. al., 2000

Dalam penelitiannya, Schloss, et. al.(2000), pengomposan secara aerobik dengan menggunakan *bench-scale aerated mixed bed reactor* dapat mencapai suhu optimum saat frekuensi pengadukan 24 jam dan 96 jam, artinya 1 hari dan 4 hari.

d. Porositas

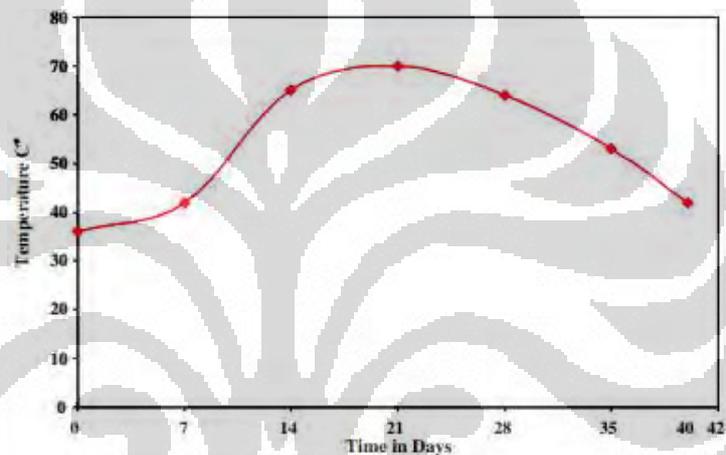
Faktor ini merupakan hal yang penting untuk memberikan aerasi ke dalam kompos. Porositas berhubungan dengan kelembaban dimana akan terbentuk rongga yang bebas dari air. Porositas juga tergantung dari ukuran partikel. Ketika ukuran partikel dalam kompos semakin kecil, maka campuran akan memiliki lubang yang lebih sedikit, tetapi semakin dapat menahan air. Untuk tingkatan aman, kelembaban berada dalam rentang 40-55%.

e. Kelembaban

Nilai kelembaban sebesar 60% saat memulai pengomposan adalah sangat baik. Jika kelembabannya terlalu rendah, maka akan terjadi dehidrasi. Saat pengomposan berakhir, kandungan air dalam kompos berkurang (hanya 30%), sehingga dapat mengurangi aktivitas biologi dalam mencapai kestabilan materi. Kelembaban selama proses pengomposan juga dapat dipengaruhi oleh pengadukan (*mixing*) yang dilakukan.

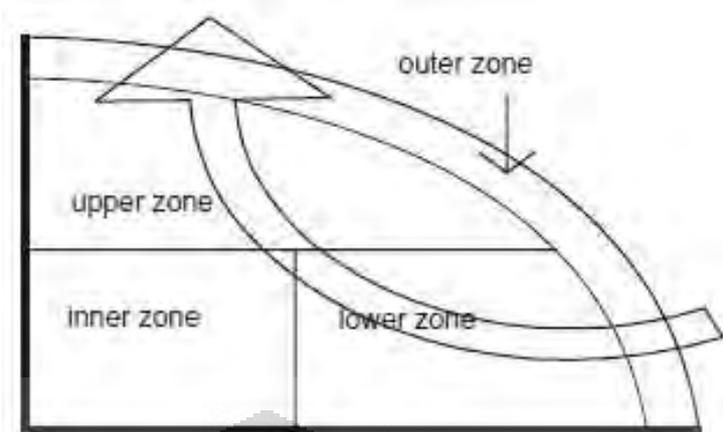
f. Suhu

Proses dalam pengomposan adalah eksoterm. Hanya 40-50% energi dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk mensintesis ATP, dan energi lainnya hilang sebagai panas. Supaya pengomposan berlangsung lebih cepat, maka perlu adanya kontrol suhu antara 30-45⁰C. Elango, et.al. (2009) dalam percobaan pengomposan dengan metode *windrow* (pengadukan mekanik) mampu mencapai suhu termofilik 65-70⁰C pada minggu ketiga. Lalu, suhu mulai menurun hingga pengomposan berakhir pada minggu keenam. Gambar grafik di bawah menunjukkan hubungan umur kompos dan suhu yang dicapai.



Gambar 2.7 Grafik Hubungan Umur Kompos dan Suhu
 Sumber: Elango, et.al., 2009

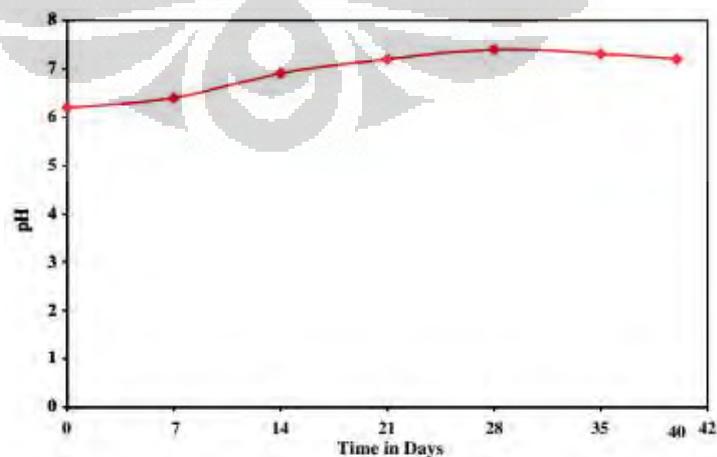
Suhu saat pengomposan tidaklah sama di semua permukaan. Hal yang terpenting adalah apabila dilakukan pengadukan, maka tiap substrat akan bergerak ke arah tengah, ke bagian yang paling tinggi suhunya. Dari sudut pandang mikrobiologi, ada empat zona dalam pengomposan, yaitu: *outer zone*, *inner zone*, *upper zone*, dan *lower zone*.



Gambar 2.8 Zona Pengomposan Metode *Open Windrow*
 Sumber: Diaz, et. al., 2001

g. pH

Bahan organik yang dapat dikomposkan memiliki rentang pH 3-11 (de Bertoldi et al., 1985 dalam Diaz, L.F., Savage, G.M., 2001). pH optimum dalam pengomposan adalah 5,5-8. Bakteri lebih memilih kondisi yang mendekati pH netral, sedangkan jamur dapat berkembang pada kondisi yang agak asam. Di awal pengomposan, pH agak menurun ($< 5,0$) karena adanya aktivitas dari bakteri asam yang memecah materi karbon menjadi asam organik (*acidification*). Setelah melewati fase *acidification*, maka pH makin naik sampai berakhirnya pengomposan saat pH mencapai 8-8,5. Peningkatan pH juga ditunjukkan oleh penelitian Elango, et.al. (2009), walaupun kenaikannya tidak sampai nilai 8,5.



Gambar 2.9 Grafik Hubungan Umur Kompos dan pH
 Sumber: Elango, et. al., 2009

h. Nutrisi

Nutrisi yang paling dibutuhkan saat pengomposan adalah karbon dan nitrogen. Karbon dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam proses dekomposisi. Karbon juga berguna untuk pertumbuhan sel. Sedangkan, mikroorganisme membutuhkan nitrogen untuk proses sintesis protein. Bakteri mengandung 7-11% nitrogen dalam tiap berat keringnya.

2.1.5 Mikroorganisme Dalam Pengomposan

Selama proses pengomposan, mikroorganisme mendekomposisi atau menguraikan senyawa dan bahan organik sebagai sumber makanan dan menghasilkan panas, karbon dioksida uap air, dan humus. Mikroorganisme kompos terdiri dari jamur dan bakteri. Jamur adalah mikroorganisme yang mampu membentuk hifa (filamen yang panjang). Jamur mampu menembus seluruh bagian kompos, membuat *feedstock* kompos menjadi busuk. Secara fisik, hifa jamur mampu mendegradasi ukuran *feedstock*. Jamur beraktivitas dalam keadaan aerob, maka dari itu diperlukan pengadukan dalam proses pengomposan. Aktivitas bakteri juga mendegradasi bahan organik, hanya saja tidak memberikan kontribusi yang banyak dibandingkan dengan jamur, karena ukuran bakteri yang lebih kecil daripada jamur (*Compost Microbiology And The Soil Food*, 2011).

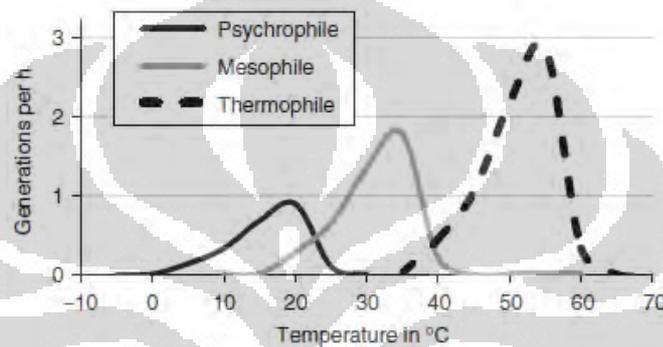
Peran mikroorganisme dalam pengomposan dipengaruhi oleh oksigen, kelembaban, suhu, nutrisi dan pH. Oksigen diperoleh dari pengadukan. Kelembaban diperoleh dari *feedstock* kompos dan dipengaruhi kondisi lingkungan. Aktivitas mikroorganisme menurun saat kelembaban mencapai 40%. Saat kelembaban mencapai di atas 60%, aktivitas mikroorganisme aerobik juga menurun karena pori-pori yang terdapat dalam substrat kompos terisi oleh air. Jadi, kelembaban optimum bagi aktivitas mikroorganisme adalah 40-60%. Nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam bentuk amonium nitrat, jika terlalu banyak, maka akan berdampak negatif terhadap mikroorganisme tersebut. Nutrisi seperti nitrogen dalam bentuk amonium nitrat yang berlebih dapat membunuh bakteri mesofilik dalam kompos. Mikroorganisme mempengaruhi kecepatan dalam proses pengomposan. Menurut Krueger et. al. (1973) dalam Epstein (1997), ada beberapa jenis mikroorganisme yang dapat hidup selama proses pengomposan

berdasarkan temperatur. Tabel dan grafik di bawah menjelaskan mikroorganisme tersebut.

Tabel 2.8 Mikroorganisme Dalam Kompos

Mikroorganisme	Rentang Temperatur
<i>Cryophiles</i> atau <i>psychrophiles</i>	0-25 ⁰ C
Mesofilik	25-45 ⁰ C
Termofilik	>45 ⁰ C

Sumber: Epstein, 1997



Gambar 2.10 Grafik Hubungan Suhu dan Waktu Tumbuh Organisme

Sumber: Diaz, et. al., 2001

Banyaknya mikroorganisme yang terdapat dalam proses pengomposan membuat banyak pula penelitian mengenai mikroorganisme tersebut. Menurut Kelly (1954) dalam Epstein (1997), pengomposan yang dilakukan di luar ruangan dalam keadaan temperatur yang rendah mampu mempertahankan mikroorganisme untuk berkembangbiak. Selain mikroorganisme yang mampu bertahan pada temperatur rendah, ada juga mikroorganisme yang mampu bertahan hidup pada suhu di atas 75⁰C. Selain diklasifikasikan berdasarkan temperatur, mikroorganisme dalam kompos juga diklasifikasikan berdasarkan sumber energi dan karbon. Mikroorganisme tersebut adalah *Autotrophic* dan *Heterotrophic* seperti pada Tabel 2.10

Tabel 2.9 Mikroorganisme dan Temperatur Tumbuh

Organisme	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Referensi
<i>Cladosporium</i> sp.	-6,7	Berry dan Magoon (1934) ¹
<i>Lactobacillus</i> sp.	-6	Berry dan Magoon (1934) ¹
<i>Penicillium</i> sp.	-6	Berry dan Magoon (1934) ¹
<i>Bacillus thermophilus</i>	78	Georgevitch (1910) ¹
<i>Bacillus losanitichi</i>	78	Georgevitch (1910) ¹
<i>Desulfovibrio thermophilus</i>	85	Tansey dan Brock (1978) ¹

Sumber: ¹dalam Epstein, 1997

Tabel 2.10 Klasifikasi Mikroorganisme Dalam Kompos

Klasifikasi	Sumber Energi	Sumber Karbon
<i>Autotrophic</i> - <i>Photoautotrophic</i> - <i>Chemoautotrophic</i>	Cahaya Reaksi reduksi oksidasi inorganik	CO ₂ CO ₂
<i>Heterotrophic</i> - <i>Chemoautotrophic</i> - <i>Photoautotrophic</i>	Reaksi reduksi oksidasi inorganik Light	Organik karbon Organik karbon

Sumber: Tchobanoglous, 1993

Jika dihubungkan dengan fase selama proses pengomposan, peranan mikroorganisme dapat dibedakan menjadi empat fase, yaitu mesofilik, termofilik, mesofilik kedua, dan maturasi. Dalam fase mesofilik, energi masih tinggi, senyawa seperti glukosa dan protein sangat mudah untuk tersekomposisi oleh bakteri, jamur, actinobacteria. Ketiganya disebut sebagai dekomposer primer. Selanjutnya adalah fase termofilik, dimana mikroorganisme yang dapat bertahan pada suhu mesofilik mulai mati. Dekomposisi berlangsung semakin cepat, terutama saat kenaikan suhu mencapai 62^oC. Jamur termofilik dapat tumbuh pada suhu antara 35^oC sampai 55^oC, dan ketika suhu melebihi itu, maka pertumbuhannya terhalang. Beberapa bakteri termofilik dan termotoleran serta aktinobakteri dapat bertahan pada suhu yang tinggi. Fase ini sangat penting untuk higienisasi, karena bakteri patogen dan larva akan mati. Kemudian, fase pendinginan (mesofilik kedua). Ciri dari fase ini adalah peningkatan jumlah organisme, seperti bakteri dan jamur. Fase terakhir adalah, dimana ada fase *curing* sebelum akhirnya kompos menjadi stabil. Selama fase ini, kualitas substrat menurun dan dalam beberapa tahap komposisi mikroba seluruhnya berubah.

Biasanya, proporsi jamur meningkat dan jumlah bakteri menurun. Senyawa lain, seperti lignin tidak terdegradasi dan jumlahnya menjadi dominan.

2.1.6 *Fecal coliform*

Menurut *New Hampshire Department of Environmental Services* (2003), bakteri *Fecal coliform* adalah indikator adanya bakteri patogen dalam limbah cair ataupun lumpur hasil pengolahan limbah. Bakteri patogen adalah bakteri yang menyebabkan penyakit pada sistem pencernaan makhluk hidup. Bakteri *coliform* merupakan jenis bakteri anaerob fakultatif, Gram negatif, berbentuk batang dan memfermentasikan laktosa, menghasilkan gas dan asam ketika dibiakkan selama 48 jam pada suhu 35⁰C. *Fecal Coliform* terdiri dari beberapa spesies bakteri, antara lain:

a. *E. Coli*

Escherichia coli (*E. Coli*) adalah jenis bakteri satu sel dan dapat hidup di berbagai lingkungan yang berbeda. Bakteri ini sifatnya patogen, atau dapat menyebabkan penyakit pada manusia karena dapat menginfeksi. Sifat lainnya adalah komensalisme, artinya hidup pada manusia atau makhluk hidup lainnya untuk memperoleh makanan atau nutrisi tanpa menyebabkan bahaya terhadap inangnya. *E. Coli* adalah prokariot. Theodor Escherich, seorang ahli bakteri dari Jerman, pada tahun 1885 mengidentifikasi *E. Coli* ketika ada seorang bayi yang menderita radang yang mengakibatkan sakit perut dan diare. Dari bayi tersebut ditemukan adanya bakteri *E. Coli*. Bakteri *E. Coli* merupakan anggota dari famili *Enterobacteriaceae* bersama dengan *Klebsiella*, *Shigella*, dan *Salmonella* sp. *E. Coli* bentuknya seperti batang dan merupakan jenis bakteri gram negatif yang dapat hidup secara aerobik maupun anaerobik (fakultatif anaerob). *E. Coli* juga merupakan jenis bakteri kemoorganotropik. Pertumbuhan optimalnya pada suhu 37⁰C. Jika pada suhu 55⁰C, *E. Coli* dapat bertahan selama 60 menit, sedangkan pada suhu 60⁰C dapat bertahan selama 15 menit.

b. *Klebsiella*

Bakteri ini adalah jenis bakteri gram negatif yang dapat memfermentasikan laktosa, bentuknya adalah batang, sifatnya non-motil dan merupakan bakteri

aerobik. Pertama kali dikenal sebagai bakteri patogen pada abad ke-19 oleh Edwin Klebs. Ada banyak spesies *Klebsiella* yang sangat merugikan bagi kesehatan manusia, di antaranya:

- *Klebsiella pneumoniae* yang merupakan penyebab penyakit bronkitis. Spesies ini banyak ditemukan di lapisan mukosa mamalia, terutama paru-paru.
- *Klebsiella rhinoscleromatis* dan *Klebsiella ozena* yang menyebabkan penyakit langka, yakni pembekuan mukosa di rongga hidung yang disertai dengan nanah.
- *Klebsiella oxytoca* yang menyerang ibu hamil dan menyebabkan kelahiran prematur.

c. *Citrobacter*

Ada tiga spesies dari jenis *Citrobacter* yang bersifat patogen terhadap manusia, yaitu:

- *Citrobacter freundii*, merupakan bakteri gram negatif dan sifatnya anaerob. Spesies ini dapat ditemukan di tanah, air, limbah, dan makanan. *Citrobacter freundii* memiliki kemampuan menginfeksi saluran kemih dan juga menjadi penyebab *pneumonia nosokomial*.
- *Citrobacter amalonaticus*, spesies ini sering ditemukan dalam sistem pencernaan manusia dan menyebabkan infeksi saluran kemih, juga sangat cepat menginfeksi manusia yang memiliki kekebalan tubuh yang lemah.
- *Citrobacter diversus*, spesies ini sering ditemukan di air, limbah, tanah, makanan dan tinja yang dapat menyebabkan penyakit meningitis.

*Escherichia coli*¹*Klebsiella pneumoniae*²*Citrobacter freundii*³

Gambar 2.11 Bakteri *Fecal coliform*
 Sumber: ¹Manning, 2005, ²Umeh, 2011, ³Kunkel, 2010

Fecal coliform merupakan jenis bakteri yang tidak dapat membentuk spora. Spora adalah bentuk bakteri saat menghadapi kondisi yang tidak memungkinkan untuk berkembang biak. Spora dapat kembali hidup atau berkembang biak ketika kondisi lingkungan kembali baik.

Tabel 2.11 Karakteristik *Fecal coliform* Bukan Spora

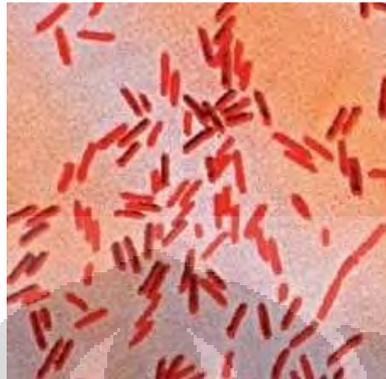
No.	Bakteri	Sifat
1.	<i>E. Coli</i>	<i>Non-sporeforming</i> ¹
2.	<i>Klebsiella</i>	<i>Non-sporeforming</i> ²
3.	<i>Citrobacter</i>	<i>Non-sporeforming</i> ¹

Sumber: ¹Guentzel, 1996 dan ²Attorney, 2012

2.1.7 *Salmonella* sp.

Salmonella sp ditemukan pada tahun 1885 oleh Daniel Elmer Salmon dan Theobald Smith. *Salmonella* sp pertama kali ditemukan ketika ada penyakit yang bernama “*hog cholera*”. *Salmonella* sp adalah jenis bakteri Gram negatif yang berbentuk batang dan memiliki tingkat pertumbuhan selama 40 menit, dapat tumbuh dengan optimal pada suhu 37⁰C, tetapi juga memiliki kemampuan untuk hidup pada suhu 6-46⁰C. Hal ini membuat *Salmonella* sp memiliki tingkat

perkembangbiakan yang besar. Bahkan, sampai saat ini ada 2.500 jenis dalam kelompok *Salmonella* sp yang menginfeksi manusia dan hewan.



Gambar 2.12 Bakteri *Salmonella* sp
Sumber: Brands, 2006

Selain itu, tidak ada temperatur khusus untuk *Salmonella* sp dapat bertumbuh, namun ada pH khusus, yaitu dalam rentang 4,1–9, dan optimum pada rentang 6,5–7,5. Dalam pertumbuhannya, *Salmonella* sp membutuhkan nutrisi, misalnya glukosa pada tubuh manusia. *Salmonella* sp juga tidak membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya.

2.1.8 Pengaruh Pengomposan Terhadap Keberadaan Bakteri Patogen

Prinsip pengomposan adalah sebagai unit desinfeksi sangat bergantung terhadap suhu yang dicapai selama proses pengomposan. Namun, suhu yang dapat dicapai tidak menjamin seluruh bakteri patogen dapat terbunuh (Kim, et al., 2009). Menurut U.S. EPA (1979) dalam Tchobanoglous, et. al. (1993), ada persyaratan untuk mengontrol patogen dalam proses pengomposan. Untuk membunuh bakteri patogen secara signifikan, dengan menggunakan metode *in-vessel* dan *aerated pile*, dan *windrow*, suhu 40⁰C dipertahankan selama 5 hari, sedangkan untuk suhu di atas 55⁰C dipertahankan selama 4 jam. Selain itu, untuk membunuh bakteri patogen secara lebih lanjut, dengan menggunakan metode *in-vessel* dan *aerated pile*, suhu 55⁰C dipertahankan selama 3 hari atau lebih, sedangkan untuk *windrow composting*, suhu 55⁰C harus bertahan selama 15 hari atau lebih. Selama periode waktu tersebut, pengadukan kompos dilakukan paling sedikit 5 kali. Penjelasan mengenai suhu dan periode waktu untuk membunuh

bakteri patogen dalam kompos ada dalam tabel di bawah ini dan khususnya untuk bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella* sp. yang dirangkum dari beberapa literatur.

Tabel 2.12 Suhu dan Waktu Pemusnahan Bakteri Patogen

Organisme	Waktu (menit) untuk membunuh patogen				
	50 ⁰ C	55 ⁰ C	60 ⁰ C	65 ⁰ C	70 ⁰ C
<i>Entamoeba histolytic cysts</i>	5				
<i>Ascaris lumbricoides</i> eggs	60	7			
<i>Brucella abortus</i>		60		3	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>		45			
<i>Salmonella</i> sp typhi			30		
<i>Escherichia coli</i>			60		
<i>Shigella</i> spp.	60				
<i>Taenia saginata</i>					5
Viruses					25

Sumber: Epstein, 1997

Tabel 2.13 Suhu untuk Membunuh *Escherichia coli*

No.	Bakteri	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Sumber
1.	<i>E. Coli</i>	60	60	Roediger, 1967 ¹
		70	5	
2.	<i>E. Coli</i>	55	60	Gotass, 1956 ¹
		60	15-20	
3.	<i>E. Coli</i>	60	30	Stem, 1974 ²
		70	4	

Sumber: ¹dalam Haug, 1993, ²dalam Epstein, 1997

Tabel 2.14 Suhu untuk Membunuh *Salmonella* sp

No.	Bakteri	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Sumber
1.	<i>Salmonella</i> sp	60	30	Roediger, 1967 ¹
		70	4	
2.	<i>Salmonella</i> sp	55	60	Gotass . 1956 ¹
		60	15-20	
3.	<i>Salmonella</i> sp	60	60	Stem, 1974 ²
		70	5	

Sumber: ¹dalam Haug, 1993, ²dalam Epstein, 1997

Selna and Smith (1976) dalam Haug (1993) menjelaskan hasil penelitian dalam percobaan pengomposan dengan *feedstock* lumpur dari proses pengolahan

air limbah. Hasilnya menunjukkan adanya *regrowth bacteria* selama proses pengomposan dengan metode *windrow*. *Regrowth* ditemukan pada bakteri *coliform* dan *Salmonella* sp. *Regrowth* terjadi saat musim dingin. Salah satu penyebab *regrowth* adalah kelembaban kompos. Kelembaban yang rendah pada akhir pengomposan (30-35%), mampu menahan laju *regrowth bacteria*. Russ and Yanko (1981) dalam Epstein (1997) menjelaskan bahwa peningkatan jumlah *Salmonella* sp terjadi saat fase mesofilik (20⁰-40⁰C), kelembaban sangat tinggi, dan rasio C/N di atas 15:1. Kim, et. al., (2009) juga melakukan penelitian mengenai *Regrowth Pathogen* dalam pengomposan. Kim menjelaskan bahwa faktor lingkungan sangat mempengaruhi adanya *regrowth*. Ketika suhu lingkungan menjadi 22⁰C, maka jumlah bakteri patogen yang diteliti, yakni *Salmonella* sp., *E.coli O157:H7*, dan *L. monocytogenes* menjadi bertambah banyak.

2.1.9 Kematangan Kompos

Aktivitas mikroorganisme menjadi indikator tingkat dekomposisi dan stabilitas kompos. Mikroorganisme juga memiliki peran untuk mendegradasi substrat kompos. Menurut *Guidelines For Compost Quality* (1996), yang dikeluarkan oleh negara Kanada melalui *Canadian Council of Ministers of the Environment*, kematangan kompos dapat dilihat dari reduksi kompos yang mencapai >60%. Reduksi kompos dipengaruhi oleh metode yang dipakai selama proses pengomposan. *windrow*, *in-vessel*, dan *static pile composting* memiliki tingkat reduksi yang berbeda-beda. Menurut Breitenbeck dan Schellinger (2004) dalam Yue, et. al. (2008), *windrow composting* dengan pengadukan mekanik memiliki tingkat reduksi tertinggi. Tabel 2.15 merupakan tabel reduksi kompos dari berbagai penelitian yang dilakukan dan telah dirangkum oleh Yue, et. al. (2008).

Tabel 2.15 Reduksi Volume Kompos

Proses Pengomposan	Feedstock Kompos	Waktu Pengomposan (hari)	% Reduksi Kompos	Sumber
<i>Forced-aeration static pile composting</i>	Kotoran kuda, kotoran ayam, jerami	7	8,1	Van Lier et al., 1994 ¹
<i>Natural ventilation static pile composting</i>	Kotoran dan jerami	300	33	Brodie et al., 2000 ¹
Windrow dengan Pengadukan Mekanik	Kotoran ayam + jerami	7 (0-7)	31	Van Ginkel et al., 1999 ¹
		7 (21-28)	16	
	Serbuk kayu + lumpur pengolahan air limbah	100	18,6	Breiten beck dan Schellinger, 2004 ¹
	Kotoran sapi + jerami	188 (musim panas)	83	Larney et al., 2000 ¹
300 (musim dingin)		64		

Sumber:¹ dalam Yue, et. al., 2008

Bau pada kompos juga menjadi parameter yang menunjukkan kematangan kompos. Pada awal proses pengomposan, bau yang muncul adalah bau *feedstock* kompos. Menurut Hanajima (2009), bau timbul saat fase termofilik. Tingkat aerasi mempengaruhi suhu dan juga bau kompos. Pada tahun 1972, Pemerintah Jepang melalui *Offensive Odor Control Law* (OOCL) mensahkan peraturan mengenai emisi yang ditimbulkan oleh bau selama pengomposan tidak boleh mengganggu lingkungan sekitarnya.

2.1.10 Standar Kompos di Indonesia

Proses pengomposan yang dilakukan harus menghasilkan kompos yang matang dan berkualitas. Standar kualitas kompos yang digunakan di Indonesia adalah SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Dalam standar ini, kualitas kompos dibedakan menjadi beberapa parameter yang dapat dikelompokkan menjadi parameter kimia, fisik, dan biologi. SNI Kompos terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.16 SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik

No.	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1.	Kadar Air	%	-	50
2.	Temperatur	⁰ C		Suhu air tanah
3.	Warna			Kehitaman
4.	Bau			Berbau tanah
5.	Ukuran partikel	mm	0,55	25
6.	Kemampuan ikat air	%	58	
7.	pH		6,80	7,49
8.	Bahan asing	%	*	1,5
	Unsur makro			
9.	Bahan organik	%	27	58
10.	Nitrogen	%	0,4	
11.	Karbon	%	9,8	32
12.	Fosfor (P ₂ O ₂)	%	0,1	
13.	C/N		10	20
14.	Kalium	%	0,2	*
	Unsur mikro			
15.	Arsen	mg/kg	*	13
16.	Kadmium (Cd)	mg/kg	*	3
17.	Kobal (Co)	mg/kg	*	34
18.	Kromium (Cr)	mg/kg	*	210
19.	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
20.	Mercuri (Hg)	mg/kg	*	0,8
21.	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
22.	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
23.	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
24.	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
	Unsur lain			
25.	Kalsium	%	*	25,5
26.	Magnesium (Mg)	%	*	0,6
27.	Besi (Fe)	%	*	2
28.	Aluminium (Al)	%		2,2
29.	Mangan (Mn)	%		0,1
	Bakteri			
30.	<i>Fecal Coliform</i>	MPN/gr		1000
31.	<i>Salmonellas</i> p.	MPN/4 gr		3

Keterangan : * Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2004

2.2 Kerangka Berpikir

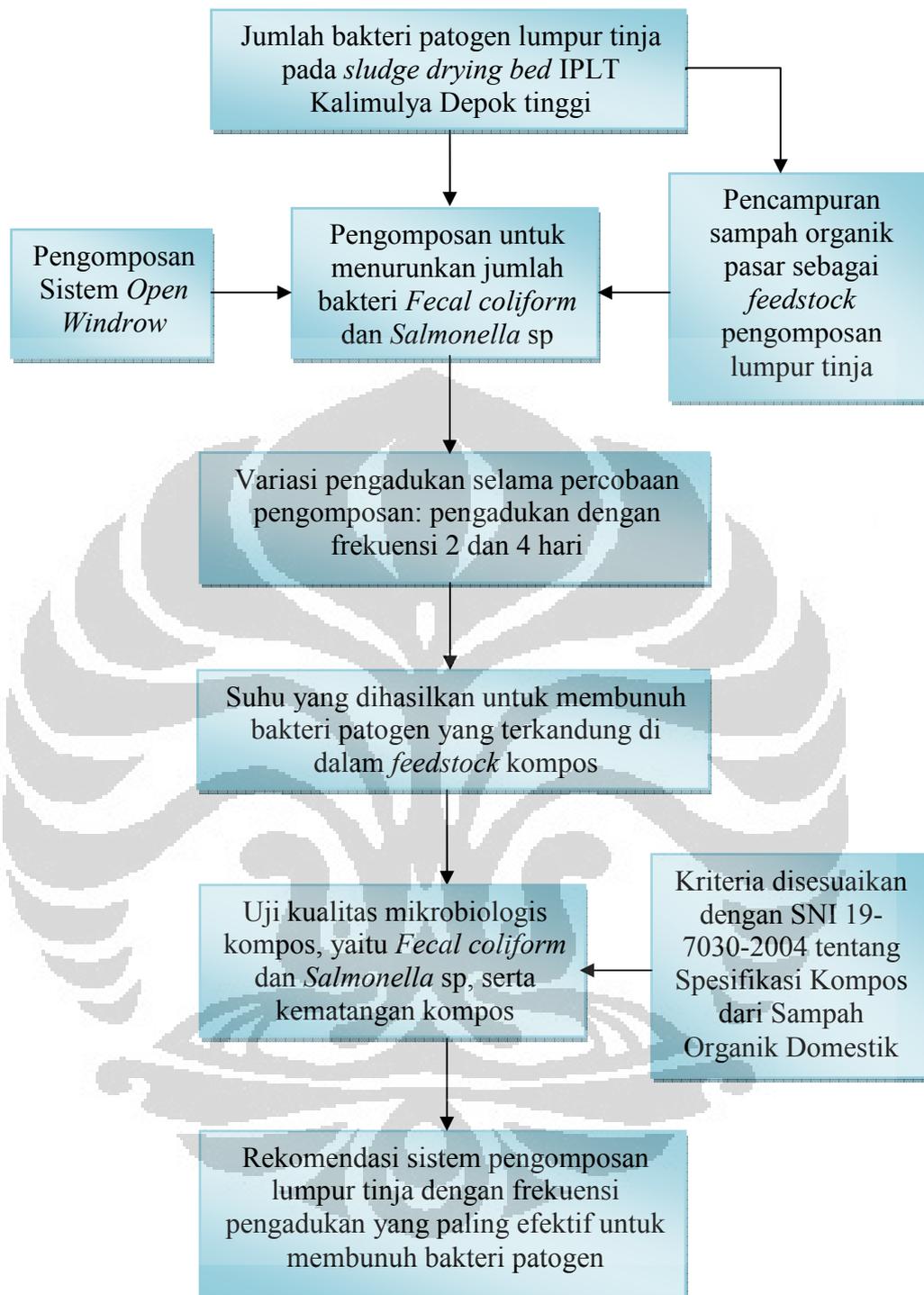
Kerangka berpikir menjelaskan secara teoritis hubungan antarvariabel yang akan diteliti (Sugiyono, 2009). Lumpur tinja mengandung bakteri patogen yang tinggi, khususnya lumpur tinja dari *sludge drying bed* yang ada di IPLT

Kalimulya, Depok. Jumlah *Fecal Coliform* mencapai >1600 MPN/gr. Untuk mengurangi jumlah bakteri patogen tersebut, akan dilakukan pengolahan terhadap lumpur tinja, yakni dengan metode pengomposan. Namun, kadar air yang dimiliki lumpur tinja cukup tinggi (88,1%), maka dalam proses pengomposan akan dicampur dengan sampah pasar (buah-buahan).

Metode pengomposan ini diharapkan dapat membunuh patogen dengan mencapai suhu termofilik (65°C). Untuk mencegah bau, maka digunakan sistem pengomposan aerobik. Suplai oksigen diberikan melalui proses pengadukan. Namun, pengadukan yang dilakukan akan dapat melepaskan panas dari proses pengomposan.

Dalam penelitian ini akan dilihat bagaimana pengaruh pengadukan terhadap perubahan suhu dalam proses pengomposan yang akan berpengaruh terhadap pencapaian suhu termofilik yang mampu membunuh bakteri patogen *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp. Selanjutnya, hasil dari pengukuran jumlah bakteri patogen akan dibandingkan dengan SNI 19-7030-2004.

Dari kerangka berpikir yang telah diuraikan di atas, maka dapat dibuat kerangka konsep penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2.13 Kerangka Konsep Penelitian

Sumber: Hasil Olahan, 2012

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Berdasarkan tujuan-tujuan penelitian yang telah dirumuskan dalam Bab 1, maka digunakan dua pendekatan, yaitu secara pendekatan secara kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengumpulkan data suhu yang tercapai dari tiap frekuensi pengadukan kompos yang berbeda, mengetahui jumlah dari bakteri patogen, yakni *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp, dan digunakan untuk mengetahui kematangan kompos dengan parameter volumenya. Setelah pendekatan kuantitatif dilakukan, selanjutnya data akan dianalisis dengan metode deskriptif korelasi. Pendekatan secara kualitatif digunakan untuk memberikan rekomendasi kepada masyarakat sekitar IPLT Kalimulya Depok dalam proses pengomposan lumpur tinja guna mengurangi paparan bakteri patogen terhadap masyarakat. Metode dalam menganalisis data tersebut adalah analisis deskriptif.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2009). Variabel diperlukan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasi, dan mendefinisikan secara jelas suatu penelitian.

Pada penelitian ini terdapat dua jenis variabel penelitian, yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel bebas (*independent*) adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel dependen, sedangkan variabel terikat (*dependent*) adalah variabel yang muncul akibat dari variabel bebas (*independent*). Berdasarkan pengertian tersebut, maka variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- Umur kompos
- Suhu
- Frekuensi pengadukan, perbedaan pengadukan yang dibuat adalah:

- Pengomposan diaduk tiap dua hari sekali
- Pengomposan diaduk tiap empat hari

Variabel terikat adalah:

- Jumlah *Fecal coliform*
- Jumlah *Salmonella* sp
- Volume, bau, warna, dan tekstur

3.3 Populasi dan Sampel

3.3.1 Persiapan Penelitian

Berikut adalah hal-hal yang perlu dipersiapkan untuk melakukan penelitian:

- Mempersiapkan tempat untuk meletakkan tempat pengomposan, yang aman dari gangguan hujan, tangan yang jahil
- Membuat komposter 1,0 m x 1,0 m x 1,0 m
- Mengambil lumpur tinja dari IPLT sebanyak yang diperlukan
- Mengambil sampah pasar dari Pasar Kemiri Muka Depok sebanyak yang diperlukan dan melakukan pencacahan di Rumah Kompos FMIPA UI
- Melakukan pengomposan

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini, antara lain:

- Sekop untuk mengaduk lumpur tinja dan sampah sampah
- Masker pelindung
- Sarung tangan
- Termometer
- Penggaris/meteran bangunan

3.3.2 Metode Pengomposan

Sistem pengomposan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *windrow* dengan menggunakan komposter berbentuk kotak. Untuk suplai oksigen dilakukan pengadukan. Lama pengomposan adalah 45 hari. Waktu ini dipilih sampai kompos matang (*mature*) dan menunggu sampai proses *curing*. Dengan kandungan kadar air yang tinggi, maka pengomposan lumpur tinja dan sampah organik pasar tidak memerlukan penambahan air.

3.3.3 Komposisi Pengomposan

Pengomposan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *feedstock* lumpur tinja yang dicampur dengan sampah organik, yaitu sampah pasar dari Pasar Kemiri Muka Depok. Berikut adalah karakteristik lumpur tinja dan sampah pasar yang akan dijadikan sebagai *feedstock*.

Tabel 3.1 Karakteristik Lumpur Tinja IPLT Kalimulya

Karakteristik	Nilai
<i>Moisture content</i>	88,1%
Karbon	29
Nitrogen	2,98

Sumber: Hasil Olahan, 2012

Tabel 3.2 Karakteristik Sampah Pasar Kota Depok

Karakteristik	Nilai
<i>Moisture content</i>	79,6%
Karbon	38
Nitrogen	1,24

Sumber: Valeria, 2011

Perhitungan C/N *feedstock* adalah sebagai berikut:

Untuk 1 kg sampah organik

Kadar air	= 1 kg (0,796)	= 0,796 kg
Berat kering	= 1 – 0,796	= 0,204 kg
Nitrogen	= 0,204 x 0,0124	= 0,0025 kg
Carbon	= 0,204 x 0,38	= 0,07752 kg

Untuk 1 kg lumpur tinja

Kadar air	= 1 kg (0,881)	= 0,881 kg
Berat kering	= 1 – 0,881	= 0,119 kg
Nitrogen	= 0,119 x 0,0298	= 0,00354 kg
Carbon	= 0,119 x 0,29	= 0,03451 kg

$$\frac{C}{N} = 25 = \frac{C \text{ untuk 1 kg lumpur tinja} + x (C \text{ untuk 1 kg sampah organik})}{N \text{ untuk 1 kg lumpur tinja} + x (N \text{ untuk 1 kg sampah organik})}$$

$$\frac{C}{N} = 25 = \frac{0,03451 + x (0,07752)}{0,00354 + x (0,0025)}$$

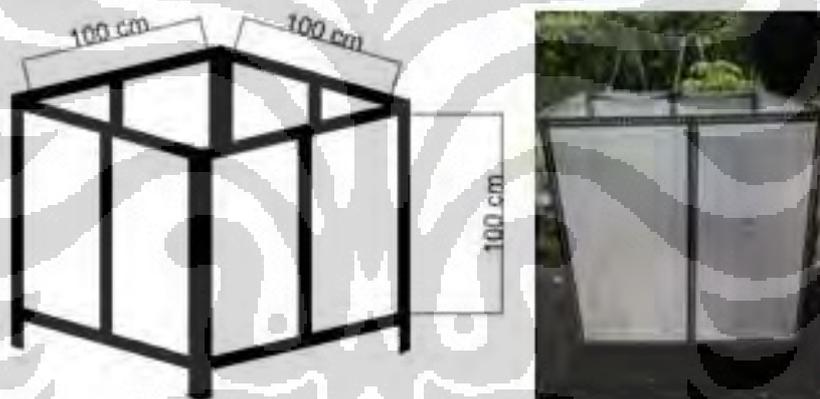
$$0,0885 + 0,0625x = 0,03451 + 0,07752x$$

$$0,54 = 0,015x$$

$$x = 3,8$$

Artinya, 38 kg sampah organik pasar berbanding dengan 10 kg lumpur tinja. Sehingga dalam pencampuran ke dalam kotak pengomposan, komposisinya adalah 10 kg lumpur tinja dan 38 kg sampah organik. Campuran terus dibuat sampai akhirnya komposter pengomposan menjadi penuh.

3.3.4 Tempat Pengomposan



Gambar 3.1 Komposter
Sumber: Hasil Olahan, 2012

Komposter yang dibuat pada penelitian ini berukuran 1,0 m x 1,0 m x 1,0 m. Volume *feedstock* yang ingin dibuat dalam proses pengomposan ini adalah $\pm 1 \text{ m}^3$. Tumpukannya dibuat meninggi agar suhu termofilik dapat tercapai dan untuk mencegah pengurangan volume kompos akibat *shrinkage* (penyusutan). Komposter yang dibuat tidak menggunakan penutup, karena metode pengomposan dalam penelitian ini adalah *open windrow*.

Kelima sisinya akan dilubangi sebesar 1 *inch* dengan jarak yang tidak ditentukan, namun dengan pertimbangan, lubang yang dibuat akan cukup untuk

menyuplai udara masuk ke dalam kompos. Komposter akan dibuat 2 buah, dengan rincian:

Tabel 3.3 Jumlah Komposter

Komposisi	Frekuensi Pengadukan	Jumlah
Lumpur tinja + sampah organik	2 hari	1 buah
Lumpur tinja + sampah organik	4 hari	1 buah

Sumber: Hasil Olahan, 2012

3.3.5 Sampel Penelitian

Parameter yang akan diuji dalam penelitian ini adalah suhu, mikroorganisme dalam kompos, khususnya bakteri patogen, yaitu *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp, volume, bau, warna, dan tekstur. Volume *feedstock* kompos dalam percobaan pengomposan adalah 1,2 m³. Seluruh *feedstock* tersebut tidak mungkin diuji. Sampel akan diuji untuk mendapatkan data jumlah bakteri *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp yang ada di dalam komposter pada percobaan ini.

Pengukuran suhu, volume, bau, warna dan terkstur akan dilakukan di dalam komposter. Pada pengukuran suhu, sensor termometer akan dimasukkan ke dalam komposter pada bagian atas, tengah, dan bawah komposter. Sedangkan, pada pengukuran volume, dilakukan dengan penggaris/meteran bangunan pada komposter yang selanjutnya dihitung secara matematis volume isi kotak komposter. Pada pengukuran bau, warna dan tekstur, dilakukan secara organoleptik dengan cara dilihat dan dicium aromanya dari jarak yang dekat dengan kompos.

Untuk menguji parameter mikrobiologis, kompos di dalam komposter diaduk terlebih dahulu, lalu sampel diambil dengan cara random sampling, yaitu secara acak. Sampel diambil pada hari ke-0, 15, 30, 40 dan 45 untuk sampel pengujian *Fecal coliform* dan hari ke-0, 15, dan 30 untuk pengujian *Salmonella* sp. Sampel diambil dan dipisahkan menjadi dua untuk diuji *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp di tempat yang berbeda. Jika sampel tidak langsung diuji, sampel akan disimpan di dalam lemari pendingin (kulkas). Menurut Martin (2005), bakteri patogen yang terkandung dalam material tanah mampu bertahan pada suhu 5⁰C. *E. Coli* (salah satu spesies *Fecal coliform*) mampu bertahan selama 100 hari,

sedangkan *Salmonella* sp mampu bertahan selama 12-28 minggu. Oleh karena itu, penyimpanan di lemari pendingin sangat efektif.

3.3.6 Metode Pengukuran

Sampel kompos akan diuji dengan berbagai metode pengukuran. Ada empat metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

- Pengukuran langsung

Metode ini digunakan untuk memperoleh data dari pengukuran suhu dan volume. Termometer langsung ditancapkan pada bagian kompos yang akan diukur suhunya lalu suhu yang terlihat di layar termometer digital dan suhu yang ditunjukkan oleh jarum pada termometer analog. Selain suhu, pengukuran langsung dilakukan untuk mengukur volume kompos. Penggaris/meteran diletakkan satu sisi komposter dan diukur ketinggian penyusutannya.

- Organoleptik

Dalam pengomposan ini juga dilakukan pengukuran terhadap bau, warna, dan tekstur kompos. Metode yang digunakan adalah organoleptik. Metode ini menggunakan pancaindera untuk mengukur bau, warna dan tekstur. Indera yang digunakan, antara lain: hidung, mata, dan kulit. Tidak ada ketentuan khusus dalam proses pengukurannya.

- *Multiple-Tube Fermentation* (MTF)

Sampel *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp diuji dengan menggunakan metode MTF. Metode ini sesuai dengan metode yang disyaratkan dalam SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik.. Alat dan bahan yang digunakan serta langkah kerjanya terdapat di Lampiran 1. Pengujian ini menggunakan analisis tabung durham dalam tabung reaksi BGLB. Tabung durham yang mengandung gelembung udara dihitung jumlahnya dan disesuaikan dengan tabel MPN yang ada. Angka MPN berasal dari tabel tersebut.

- Pewarnaan Gram

Pengujian dengan pewarnaan gram digunakan untuk membuktikan bakteri yang menunjukkan hasil positif pada tabung *Bile Green Lactose Broth*

(BGLB) adalah bakteri Gram negatif jenis *Fecal coliform*. Alat dan bahan yang digunakan serta langkah kerjanya terdapat di Lampiran 1. Menurut Teori Salton dalam Novita, et al., (2009) menjelaskan bahwa kadar zat lipid yang tinggi (20%) dalam dinding sel bakteri Gram negatif akan membuat zat lipid tersebut larut selama proses pencucian dengan alkohol. Pori-pori pada dinding sel membesar, sehingga zat warna yang sudah diserap mudah dilepaskan dan bakteri menjadi tidak berwarna. Sedangkan, bakteri Gram positif mengalami denaturasi protein pada dinding selnya akibat pencucian dengan alkohol. Protein menjadi keras dan beku, pori-pori mengecil sehingga kompleks kristal yodium yang berwarna ungu dipertahankan dan bakteri akan tetap berwarna ungu.

3.4 Data dan Analisis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini ada dua, yaitu data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari pengujian-pengujian dengan metode yang dilakukan, yaitu melalui pengukuran langsung, organoleptik, pengujian MTF, dan Pewarnaan Gram. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur. Data sekunder ini diperlukan untuk melengkapi teori dasar dan membantu dalam membuat analisis dari data yang telah diperoleh.

Data-data yang diperoleh dibuat dalam bentuk tabel dan grafik. Tabel-tabel yang ada antara lain:

- Data suhu
- Data jumlah *Fecal coliform*
- Data jumlah *Salmonella sp*
- Data volume kompos

Tabel 3.4 Data Penelitian

Data	Jenis data	Waktu pengambilan data	Metode Pengukuran
Temperatur	Primer	Setiap hari	Termometer Digital dan Analog
Jumlah <i>Fecal Coliform</i>	Primer	Hari ke-0, 15, 30, 40, dan 45	Metode MTF (<i>Multiple-Tube Fermentation</i>) dan Pewarnaan Gram
Jumlah <i>Salmonella</i> sp	Primer	Hari ke-0, 15, dan 30	Metode MTF (<i>Multiple-Tube Fermentation</i>)
Volume	Primer	Hari ke-0, 15, 30, dan 45	Penggaris/meteran bangunan
Bau	Primer	Hari ke-0 dan 45	Organoleptik
Warna	Primer	Hari ke-0, 4, dan 39	Organoleptik
Tekstur	Primer	Hari ke-0 dan ke-45	Organoleptik

Sumber: Hasil Olahan, 2012

3.4.1 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah data penelitian diperoleh. Data yang diperoleh tersebut, antara lain: umur, kompos, suhu dari tiap frekuensi pengadukan kompos yang berbeda, jumlah *Fecal coliform*, jumlah *Salmonella* sp., volume, bau, warna dan tekstur kompos. Data-data tersebut akan dianalisis dengan menggunakan analisis statistik deskriptif. Statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul tersebut tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum (Sugiyono, 2009). Untuk memudahkan proses analisis, data-data yang diperoleh dibuat dalam bentuk grafik. Grafik menghubungkan beberapa variabel, antara lain:

- Data umur kompos dan suhu
- Data umur kompos, suhu dan jumlah *Fecal coliform*
- Data umur kompos, suhu dan jumlah *Salmonella* sp
- Data umur kompos dan persentase reduksi volume

Untuk data bau, warna, dan tekstur dianalisis dengan menggunakan teori-teori dari penelitian yang sudah pernah dilakukan dan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik.

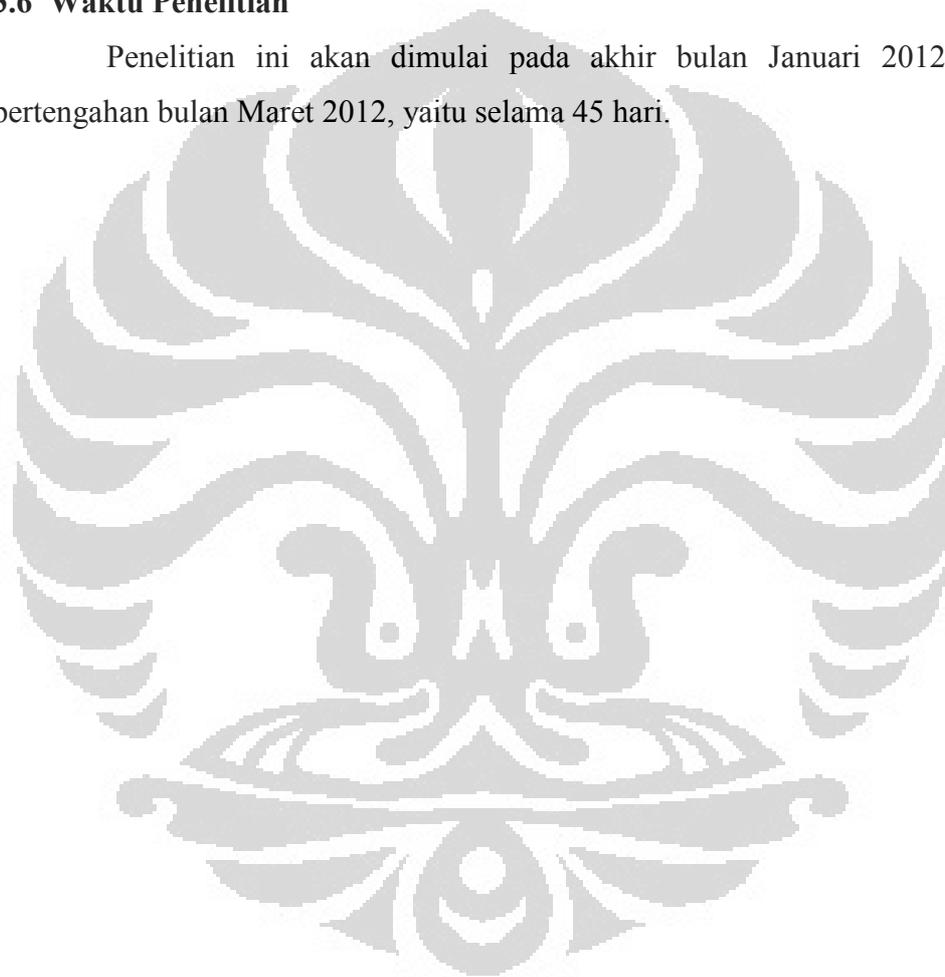
3.5 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa tempat, yakni;

- a. Pengomposan dilakukan di Rumah Kompos Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Kampus Depok
- b. Pengujian sampel untuk *Fecal Coliform* dilakukan pada Laboratorium Mikrobiologi, Teknik Lingkungan UI
- c. Pengujian sampel untuk *Salmonella* sp dilakukan pada Laboratorium Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat UI

3.6 Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dimulai pada akhir bulan Januari 2012 sampai pertengahan bulan Maret 2012, yaitu selama 45 hari.



Tabel 3.5 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan	2011												2012																								
	Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni				
	Minggu ke-																																				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Menentukan topik seminar		■																																			
Pengumpulan studi literatur		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																								
Mengumpulkan data IPLT						■	■	■	■	■	■	■	■																								
Sidang Seminar															■																						
Mempersiapkan pengomposan															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Pengomposan															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Pengadukan															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Pengukuran suhu															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Pengambilan dan pengujian sampel															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Mengolah dan menganalisis data																																					
Menyusun laporan																																					
Sidang Skripsi																																					

Sumber: Hasil Olahan, 2012

BAB 4

GAMBARAN UMUM LOKASI KEGIATAN PENELITIAN

4.1 Instalasi Pengolahan Limbah Terpadu (IPLT) Kalimulya Depok

Instalasi pengolahan limbah terpadu adalah instalasi yang mengolah air limbah dari masyarakat secara terpadu dengan menggunakan sistem perpipaan. Salah satu tujuan dari pengolahan ini adalah untuk menjamin perbaikan kualitas air dan mengendalikan pencemaran air, khususnya air permukaan. Peraturan yang digunakan sebagai baku mutu dalam pengoperasiannya adalah Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Pengolahan di dalamnya terdiri dari pengolahan secara fisika, biologis, dan kimia.

Kota Depok memiliki IPLT Kalimulya. Berbeda dengan IPLT yang ada di kota-kota lain. Jika IPLT pada umumnya merupakan singkatan dari instalasi pengolahan lumpur tinja tetapi di Kota Depok, IPLT merupakan singkatan dari instalasi pengolahan limbah terpadu. Walaupun sistem pengolahan yang dilakukan hanya untuk lumpur tinja yang dibawa menggunakan truk tinja dan diolah dengan menggunakan proses biologis berupa kolam aerasi saja.

IPLT Kalimulya terletak di Kelurahan Kalimulya, Kecamatan Cilodong, Kota Depok, Jawa Barat. IPLT Kalimulya memiliki luas lahan sebesar 2,1 Ha (DKP Kota Depok, 2011). Lokasi IPLT dapat dilihat pada Gambar 4.1. IPLT Kalimulya dulunya adalah milik Pemerintah Kabupaten Bogor. Sejak tahun 2004 IPLT dikelola oleh Pemerintah Kota Depok, namun masih melayani Kecamatan Cibinong, Kabupaten Bogor.

Adanya IPLT Kalimulya ini sesuai dengan arah kebijakan pengelolaan air limbah Kota Depok. Arah kebijakan tersebut adalah meminimumkan pencemaran air tanah dangkal dan badan air permukaan serta meningkatkan kualitas sanitasi perkotaan yang dilakukan dengan upaya meningkatkan pengembangan sistem pengolahan air limbah komunal untuk limbah rumah tangga dan perdagangan. Adanya IPLT Kalimulya diharapkan mampu mencapai tujuan Kota Depok sesuai dengan kebijakan yang telah dibuat.



Gambar 4.1 Lokasi IPLT Kalimulya
Sumber: Hidayat, 2010

IPLT menerima lumpur tinja yang dibawa dengan truk tinja dan tanpa sistem perpipaan. Berdasarkan data dari Dinas Kebersihan dan Lingkungan Hidup Kota Depok 2007-2011, jumlah petugas operator IPLT ada sebanyak 7 orang, tenaga pengemudi truk tinja sebanyak 6 orang dan tenaga pembantu supir truk tinja sebanyak 12 orang. Jumlah truk tinja yang dimiliki sebanyak 8 unit, namun 1 unit saat ini sedang mengalami kerusakan. Setiap truk tinja yang masuk ke IPLT dikenakan retribusi 25.000 rupiah sesuai dengan Perda No. 24 Tahun 2003. Total volume lumpur tinja yang masuk ke IPLT Kalimulya setiap hari adalah 66 m³ seperti yang dijelaskan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Total Lumpur Tinja IPLT Kalimulya

Layanan	Jumlah Truk Tinja	Kapasitas	Total
Depok	12-15	4 m ³	60 m ³
Cibinong	2	3 m ³	6 m ³
Total Lumpur Tinja/hari			66 m ³

Sumber: Hasil Olahan, 2012

Pengolahan lumpur tinja pada IPLT Kalimulya menggunakan unit operasi kolam anaerobik dan aerobik. Tujuan dari pengolahan adalah untuk memisahkan air dan partikel padatan dengan cara mengendapkan lumpur. Proses pengolahan yang diaplikasikan di instalasi ini adalah proses sedimentasi sebanyak

4 unit, yaitu *imhoff tank*, kolam maturasi, kolam indikator 1 dan kolam indikator 2. Aliran proses pengolahan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut.



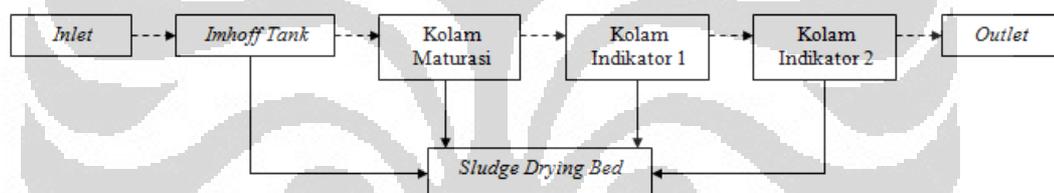
Gambar 4.2 Aliran Proses Pengolahan di IPLT Kalimulya Depok
 Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012

Unit pertama di IPLT Kalimulya adalah *imhoff tank*. *Imhoff tank* merupakan unit operasi yang di dalamnya terjadi proses pengendapan dan pencernaan secara anaerobik melalui zona sedimentasi, netral, dan lumpur. *Effluent* dari *imhoff tank* masuk ke kolam maturasi melalui saluran kecil. Kolam maturasi adalah unit kolam pengolah secara aerobik karena ada sumber oksigen dari fotosintesis alga. Lumpur tinja dari kolam maturasi mengalir ke kolam indikator 1 dan 2 melalui saluran. Saat ini, kondisi kolam *imhoff tank* dan juga kolam indikator dalam keadaan rusak, namun kerusakan ini belum sampai mencemari badan air di sekitarnya.

Menurut BLH Kota Depok, kualitas *effluent* IPLT pada bulan Mei tahun 2010, memiliki konsentrasi BOD dan COD yang mencapai 150 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa IPLT masih berjalan dalam kondisi baik dan belum terlihat

dan belum terlihat adanya pencemaran. Masyarakat juga tidak ada yang mengeluhkan dan keberatan dengan keberadaan IPLT. Pengukuran terhadap udara ambien dilakukan di depan kantor IPLT dan hasil pengukuran menunjukkan bahwa kualitas udara masih masuk kategori baik dan berada di bawah baku mutu udara ambien berdasarkan PP RI No.41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

Effluent yang dihasilkan IPLT terdiri dari 2 jenis, yaitu fase cair dan padat. *Effluent* dalam fase cair akan dialirkan atau dibuang ke Kali Ciliwung, sedangkan *effluent* fase padat yang berupa lumpur akan diolah lebih lanjut di *sludge drying bed* yang berada di samping IPLT. Pada *sludge drying bed*, lumpur akan dikeringkan di bawah terik matahari dalam kurun waktu yang tidak ditentukan. Namun, selama proses pengeringan tersebut, banyak masyarakat yang mengambil lumpur di *sludge drying bed* untuk dijadikan sebagai pupuk.



Gambar 4.3 Bagan Pengolahan Lumpur Tinja di IPLT Kalimulya

Sumber: Hasil Olahan, 2012

Keterangan:

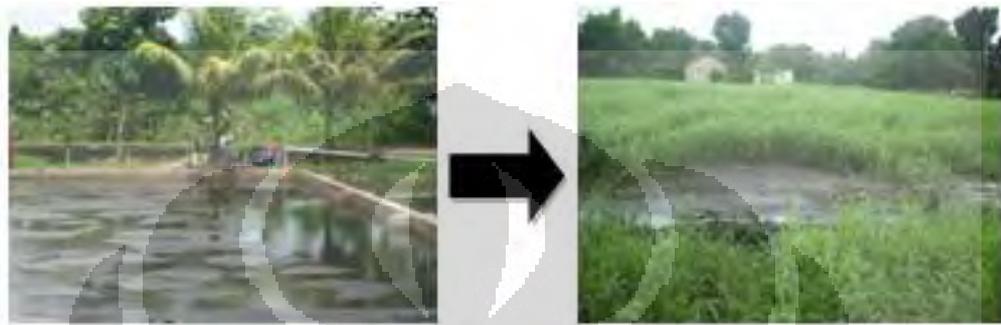
---▶ : Aliran proses pengolahan

—▶ : Aliran *effluent* lumpur

Ada tiga tata cara yang terdapat di IPLT, antara lain:

- Pengoperasian IPLT, yaitu serangkaian kegiatan untuk menjalankan fasilitas yang ada di IPLT sesuai prosedur. Saat ini, seluruh unit operasi di IPLT Kalimulya telah difungsikan sesuai prosedur, dimana lumpur tinja yang datang dari mobil tinja langsung dimasukkan ke dalam *imhoff tank*.
- Pemeliharaan IPLT, yaitu serangkaian kegiatan untuk menjaga agar setiap fasilitas yang ada pada IPLT dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Di IPLT Kalimulya dilakukan pengurasan 2 kali dalam satu tahun untuk setiap unitnya.

- c. Pengendalian IPLT, yaitu serangkaian kegiatan untuk menjaga proses yang berlangsung di IPLT dapat berjalan sebagaimana mestinya. Di IPLT Kalimulya berusaha untuk memperbaiki bagian kolam yang rusak yaitu *imhoff tank* dan kolam indikator untuk mencegah terjadinya pencemaran pada lingkungan sekitarnya.



Gambar 4.4 Lumpur Tinja yang dibuang ke *Sludge Drying Bed*
 Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012

4.2 UPS Pasar Kemiri Muka Depok

Pasar Kemiri Muka merupakan pasar induk di Kota Depok yang terletak di Kecamatan Beji. Pasar ini berbatasan dengan Stasiun Kereta Depok Baru, Terminal Depok, ITC Depok. Pasar ini memiliki luas 2,6 hektar dan terdiri dari 2.000 pedagang. Untuk menangani sampah tersebut, pasar memiliki satu unit UPS untuk mengolah sampah-sampah sebelum diangkut ke TPA Cipayung. Sebagai perbandingan, besarnya volume sampah pada beberapa pasar tradisional di Kota Depok sebagaimana tersaji pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pasar Tradisional di Kota Depok

Pasar	Pemilik	Luas Area	Tahun dibangun	Volume sampah per hari (m ³)
Sukatani	Pemerintah Kota Depok	0,29 ha	1984	15
Agung	Pemerintah Kota Depok	1 ha	2004	20
Depok Jaya	Swasta	0,7 ha	-	20
Tugu	Pemerintah Kota Depok	0,18 ha	1991	20
Musi	Pemerintah Kota Depok	1 ha	1988	20
Cisalak	Pemerintah Kota Depok	1,9 ha	1993	80
Kemiri Muka	Pemerintah Kota Depok	2,6 ha	1989	100

Sumber: POKJA AMPL, 2011

Berdasarkan tabel di atas, Pasar Kemiri Muka menghasilkan sampah terbanyak setiap hari. Pasar Kemiri Muka merupakan pasar induk di Kota Depok. Dengan luas area pasar terbesar di Kota Depok, maka semakin banyak aktivitas antara pedagang dan pembeli. Oleh karena itu, sangat wajar apabila volume sampah yang dihasilkan pun sangat banyak.



Gambar 4.5 Lokasi Pasar Kemiri Muka

Sumber: Idola, 2011

UPS Pasar Kemiri Muka tidak hanya menerima sampah yang berasal dari pasar, tetapi juga menerima sampah yang berasal dari rumah penduduk di sekitar Pasar Kemiri Muka. Sampah-sampah yang masuk berupa sayuran maupun buah-buahan. Sampah plastik juga banyak ditemukan dalam kondisi baik ataupun telah rusak. Namun, proses pemilahan belum dilakukan secara baik di UPS ini, petugas UPS hanya memisahkan dan mengumpulkan material-material yang masih dapat digunakan.

Para pedagang dapat langsung membuang sampahnya ke UPS tetapi dapat juga diangkut dengan gerobak sampah. UPS ini dikepalai oleh satu orang yang bekerja di bawah Dinas Koperasi, UMKM, dan Pasar Kota Depok. Jumlah seluruh pekerja adalah sebanyak 26 orang. Pekerja tersebut dibagi ke dalam 3 jenis pekerjaan, yaitu:

- Membawa sampah dari pedagang ke UPS: ±8 orang
- Memuat sampah di UPS ke dalam truk dan membersihkan UPS: ±18 orang
- Sebagian dari pekerja juga merangkap sebagai supir truk sampah

Petugas UPS bekerja dari hari Senin hingga Sabtu dan menerima upah harian yang besarnya mencapai 150.000 rupiah sampai 1.500.000 rupiah setiap bulan. Pembersihan sampah di UPS Pasar Kemiri Muka mulai dilakukan dari pukul 07.00 WIB sampai dengan pukul 10.00 WIB. Selanjutnya, sampah-sampah tersebut dibawa ke TPA Cipayung menggunakan 7 unit truk sampah yang memiliki volume 3 m³ tiap unitnya. Untuk mengurangi ceceran sampah selama pengangkutan, bak truk sampah ditutup dengan terpal. Frekuensi pengangkutan dilakukan sebanyak satu sampai dua ritasi per hari. Dalam satu minggu, volume timbulan sampah terbesar terjadi pada hari Senin akibat akumulasi sampah dari hari Minggu. Biasanya, hari Minggu tidak ada kegiatan di UPS Pasar Kemiri Muka.



Para Pekerja di UPS Pasar Kemiri Depok

Gerobek dan Mobil Pengangkut Sampah

Sampah Buah Pasar Kemiri

Gambar 4.6 UPS Pasar Kemiri Muka

Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012

BAB 5 HASIL DAN ANALISIS DATA

5.1 Percobaan Pengomposan

Pada penelitian ini, *feedstock* kompos yang digunakan adalah campuran lumpur tinja dan sampah organik dari pasar. *Feedstock* lumpur tinja diambil dari *sludge drying bed* IPLT Kalimulya dan sampah organik Pasar Kemiri Muka. Lumpur tinja digunakan secara langsung, sedangkan sampah organik pasar dicacah terlebih dahulu. Persiapan dalam melakukan pengomposan ini berlangsung selama 6 hari hari. Kegiatan percobaan pengomposan dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Sampah organik diambil dari Pasar Kemiri Muka, Depok, diangkut dengan menggunakan truk sampah ke Rumah Kompos UI dan pencacahan dilakukan di Rumah Kompos. Pada awalnya, ukuran sampah pasar terlalu besar, oleh karena itu sampah dicacah dengan alat pencacah yang terdapat di Rumah Kompos UI. Alat pencacah tersebut adalah seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Alat Pencacah
Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012

Alat pencacah ini mampu memotong-motong sampah sampai dengan ukuran 10-15 mm (Garsoni, 2010). Menurut Tchobanoglous (1993), ukuran yang ideal untuk *feedstock* kompos adalah kurang dari 5 cm agar mempercepat proses dekomposisi oleh bakteri dan mempermudah dalam proses pengadukan. Kapasitas kemampuan mesin pencacah ini adalah 500-700 kg/jam dengan berat 165 kg. Dimensi mesin sebesar 1100 x 680 x 1350 mm. Jumlah pisau yang terdapat di dalamnya adalah 24 unit dengan lebar 50 mm dan tebal 12 mm. Selain ukuran, untuk menghasilkan kompos yang berkualitas, ada beberapa persyaratan yang

harus dipenuhi untuk *feedstock* yang digunakan, salah satunya adalah perbandingan rasio C/N pada *feedstock* yang besarnya 25-30. Untuk mendapatkan rasio tersebut, maka dibuat perbandingan lumpur tinja dan sampah organik sebesar 10:38 kg (detail perhitungannya ada pada Subbab 3.3.3).

Selanjutnya, *feedstock* dimasukkan ke dalam dua buah komposter dengan volume masing-masing 1 m³. Untuk dua buah komposter tersebut, penggunaan lumpur tinja sebanyak 300 kg dan sampah organik pasar tercacah sebanyak 1140 kg. *Feedstock* dibuat dengan tumpukan yang meninggi seperti bentuk kerucut dengan tujuan supaya dapat mempertahankan volume *feedstock* tetap memadai dalam proses pengomposan. Selama pengomposan, pengadukan dilakukan sesuai dengan desain penelitian, yaitu 2 dan 4 hari sekali. Volume *feedstock* di kedua komposter menyusut dengan sangat cepat dalam 2 hari pertama sebesar 0,3 m³. Untuk mempertahankan ketersediaan substrat bagi aktivitas mikroorganisme, maka pada hari ke-2 dilakukan penambahan *feedstock* sebanyak jumlah yang menyusut, yaitu 0,3 m³, sehingga pada hari ke-2 volume *feedstock* kembali menjadi 1,2 m³.

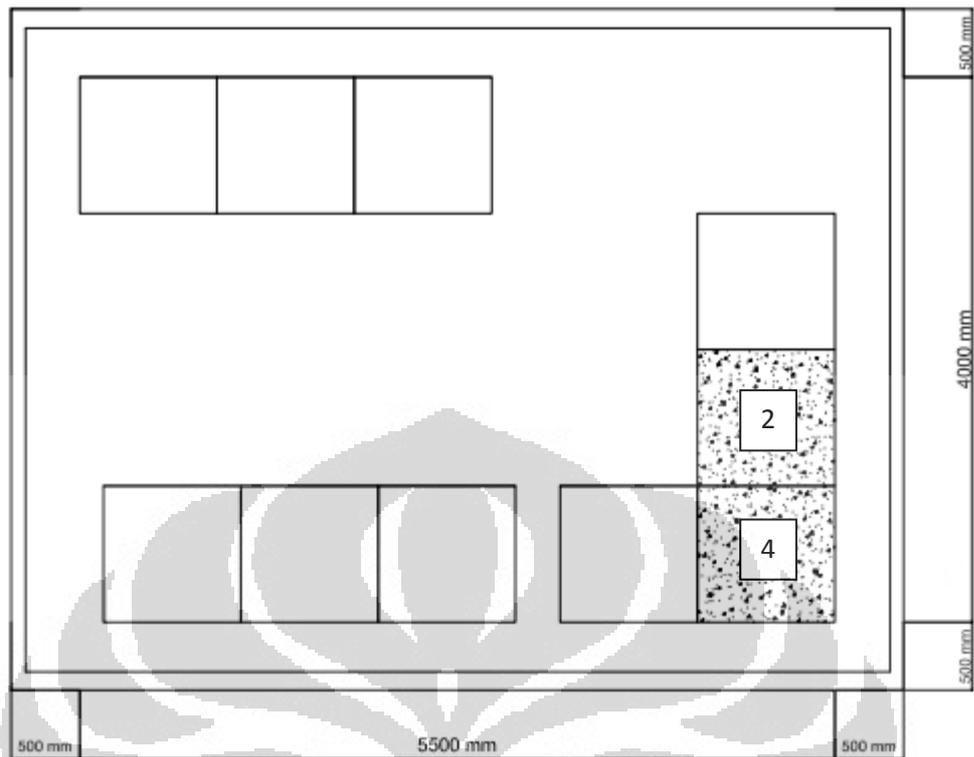
Untuk proses pengadukan, *feedstock* dalam komposter tidak dikeluarkan. *Feedstock* hanya diaduk dan dibalikkan dari bawah ke atas, dan sebaliknya. Pengadukan dilakukan oleh penjaga Rumah Kompos UI. Alat yang digunakan adalah trisula. Pengadukan dilakukan secara perlahan supaya *feedstock* tidak banyak jatuh ke luar komposter. Pada awal percobaan pengomposan, durasi pengadukan mencapai ± 1 jam. Tidak ada aturan khusus dalam melakukan pengadukan, namun yang dilakukan adalah *feedstock* diaduk sampai seluruh uap panas dari *feedstock* kompos keluar.

Pengukuran suhu dalam penelitian ini dilakukan setiap hari mulai dari hari ke-0 sampai hari ke-30 dan setelahnya suhu hanya diukur sekali dalam dua hari. Suhu diukur dengan menggunakan termometer digital dan analog. Suhu diukur pada bagian atas, tengah, dan bawah komposter. Untuk memudahkan pengukuran suhu, maka digunakan batangan besi untuk melekatkan kabel termometer tetapi tidak pada bagian sensornya. Apabila bagian sensor ikut melekat pada batang besi, maka dikhawatirkan akan mempengaruhi suhu yang terukur.

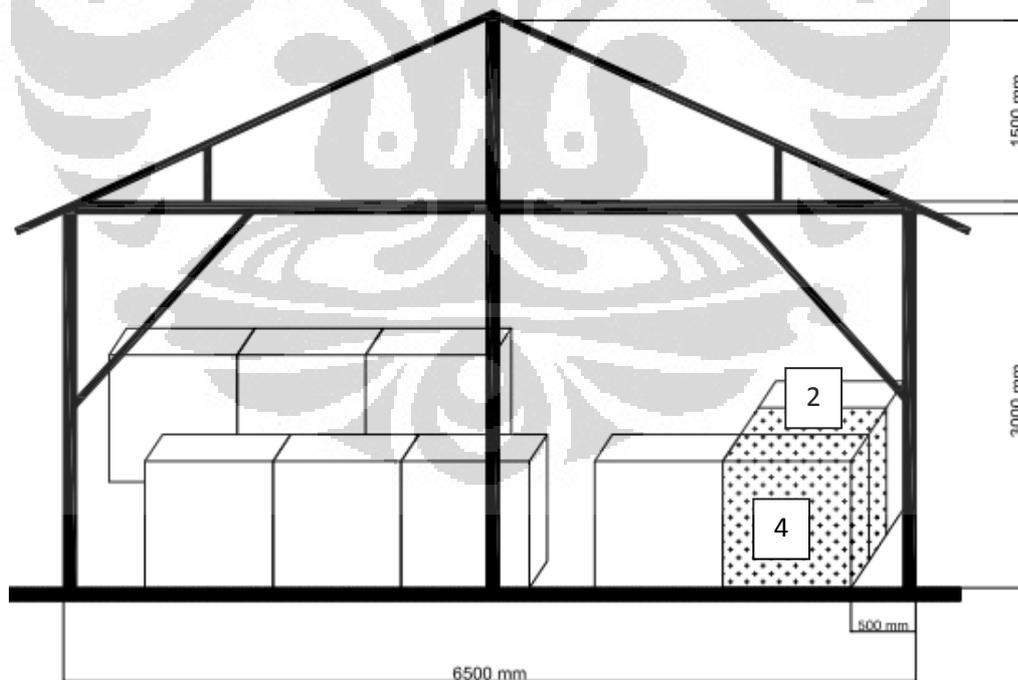


Gambar 5.2 Pengukuran Suhu
 Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012

Dari data pengukuran suhu, terlihat bahwa suhu menurun ketika terjadi hujan. Diduga bahwa cuaca mempengaruhi pergerakan suhu pengomposan. Hal ini disebabkan selama masa percobaan pengomposan sering turun hujan. Hujan yang turun dan disertai dengan angin, menyebabkan tempias air hujan hingga masuk ke dalam komposter. Untuk menjelaskan hal ini, Gambar 5.3 menunjukkan *layout* tampak atas sedangkan Gambar 5.4 menunjukkan *layout* tampak depan. Tempiasan air hujan tersebut dapat masuk ke dalam komposter karena letaknya hanya 50 cm dari pinggir Rumah Kompos. Angka 2 melambangkan komposter dengan frekuensi pengadukan 2 hari dan angka 4 melambangkan komposter dengan frekuensi pengadukan 4 hari. Ada banyak komposter di Rumah Kompos FMIPA UI. Seluruh komposter berisi *feedstock* kompos yang berbeda-beda. Selain itu, juga waktu mulai percobaan pengomposan pun berbeda-beda. Namun, saat melakukan percobaan pengomposan ataupun dalam proses pengadukan tidak mengganggu komposter satu sama lain.



Gambar 5.3 *Layout* Rumah Kompos FMIPA UI Tampak Atas
 Sumber: Hasil Olahan, 2012



Gambar 5.4 *Layout* Rumah Kompos FMIPA UI Tampak Depan
 Sumber: Hasil Olahan, 2012

Untuk melindungi *feedstock* kompos dari tempas air hujan, maka pada hari ke-45 sampel *feedstock* kompos dari kedua komposter diambil sebanyak 1 baskom. Lalu baskom tersebut diletakkan di Laboratorium Lingkungan Teknik Lingkungan UI untuk diangin-anginkan selama 2 hari. Perlakuan ini cukup berhasil karena dapat menurunkan kadar air dan jumlah *Fecal coliform* di dalam *feedstock* kompos.



Gambar 5.5 Percobaan Pengomposan
 Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012

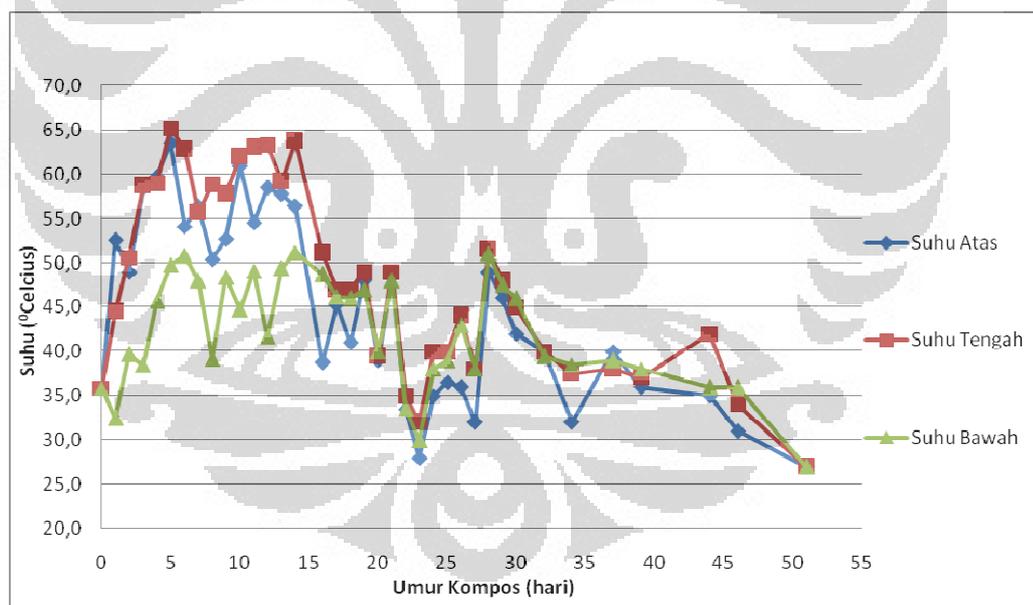
5.2 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan Terhadap Suhu Kompos

Pada subbab berikut akan diuraikan pengaruh frekuensi pengadukan terhadap suhu yang dihasilkan selama proses pengomposan. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, pengadukan merupakan mekanisme aerasi untuk penambahan atau suplai udara. Proses dekomposisi biologis yang terjadi selama

proses pengomposan memerlukan suplai oksigen. Semakin tinggi aktivitas dekomposisi biologis, maka akan semakin tinggi pula suhu yang dihasilkan. Oleh karena itu, reaksi yang terjadi dalam proses pengomposan adalah eksotermik. Dalam penelitian ini, dilakukan pengadukan dengan 2 frekuensi yang berbeda, yaitu 2 dan 4 hari.

5.2.1 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan 2 Hari Terhadap Suhu Kompos

Frekuensi pengadukan 2 hari memiliki arti bahwa kompos diaduk sebanyak satu kali dalam kurun waktu 2 hari (2x24 jam). Pengadukan mempengaruhi mikroorganisme dan substrat dalam kompos. Mikroorganisme memerlukan suplai udara, sedangkan pengadukan dapat membuat substrat tersebar merata ke seluruh komposter. Data suhu dibuat dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.6 Grafik Suhu Kompos untuk Frekuensi Pengadukan 2 hari

Sumber: Lampiran Tabel B.1

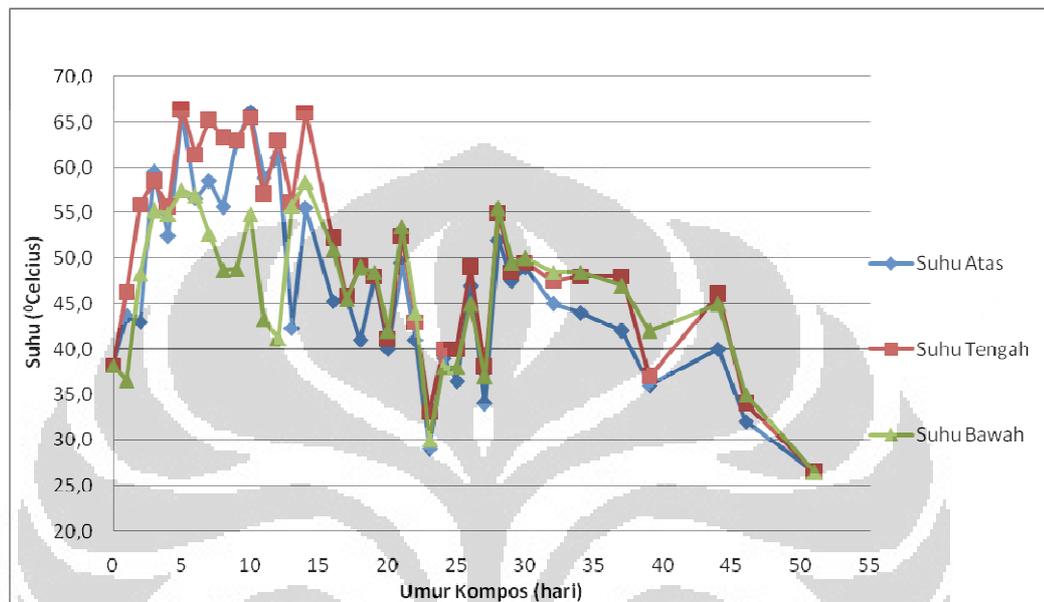
Fase pada awal pengomposan disebut *initial lag period (lag phase)*. Tchobanoglous (2002) menyebutkan bahwa fase ini merupakan fase adaptasi mikroorganisme terhadap *feedstock* kompos. Suhu pada *lag phase* akan meningkat sesuai dengan aktivitas mikroorganisme. Seperti terlihat pada Gambar 5.6., *lag*

phase dalam proses pengomposan ini berlangsung selama 4 hari (hari ke-0 sampai hari ke-4). Fase berikutnya adalah fase *exponential growth (active phase)*. Dalam fase ini, jumlah mikroorganisme meningkat secara eksponensial. Menurut Tchobanoglous (2002), suhu saat *active phase* dapat mencapai 70⁰C atau lebih, namun dalam percobaan pengomposan ini suhu tertinggi yang dicapai adalah 65,2⁰C pada hari ke-5. *Active phase* berlangsung selama 24 hari, yaitu dari hari ke-5 sampai hari ke-28. Suhu pada hari ke-28 adalah 51,5⁰C (suhu bagian tengah). Walaupun, suhu tertinggi tidak mencapai 70⁰C, namun fase ini berlangsung lebih lama dari yang diuraikan oleh Tchobanoglous (2002), yaitu lebih dari tiga minggu. Selama *active phase*, suhu mengalami naik turun (*plateau*). Jika dibuat perbandingan, fase *plateau* pada percobaan pengomposan sebagaimana yang tergambar pada Gambar 5.6. menyerupai literatur sebagaimana tersaji pada Gambar 2.5. Fase ini menunjukkan dua hal, yaitu substrat kompos yang masih tersedia dan aktivitas mikroorganisme saat mendekomposisi substrat tersebut. Aktivitas mikroorganisme dalam mendekomposisi juga dipengaruhi oleh lingkungan sekitar. Seperti terlihat pada Gambar 5.6, pada rentang hari ke-20 sampai 25, terdapat satu titik yang menunjukkan suhu yang rendah. Suhu ini diduga karena pada saat pengukuran suhu sedang turun hujan. Hujan membuat kelembaban kompos menjadi semakin tinggi dan mengurangi aktivitas mikroorganisme, sehingga suhu menjadi rendah. Fase yang terakhir adalah *curing phase (maturation phase)*. Dalam fase ini, substrat pengomposan semakin berkurang. Substrat kompos yang semakin berkurang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme yang menjadi semakin sedikit dalam mendekomposisi. Oleh karena itu, suhu yang dihasilkan selama fase maturasi semakin menurun. Suhu yang dihasilkan pada hari ke-51 adalah 27⁰C. Suhu ini telah memenuhi nilai yang dipersyaratkan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik, yaitu suhu sesuai dengan suhu air tanah (27⁰C).

5.2.2 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan 4 Hari Terhadap Suhu Kompos

Frekuensi pengadukan 4 hari memiliki arti bahwa kompos diaduk sebanyak satu kali dalam kurun waktu 4 hari (4x24 jam). Sesuai dengan teori

Tchobanoglous (2002), mikroorganisme hanya mendapat suplai udara satu kali dalam 4 hari. Substrat kompos pun tidak akan berpindah dan dibiarkan menetap selama 4 hari. Data suhu dibuat dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik Suhu Kompos untuk Frekuensi Pengadukan 4 hari
Sumber: Lampiran Tabel B.2

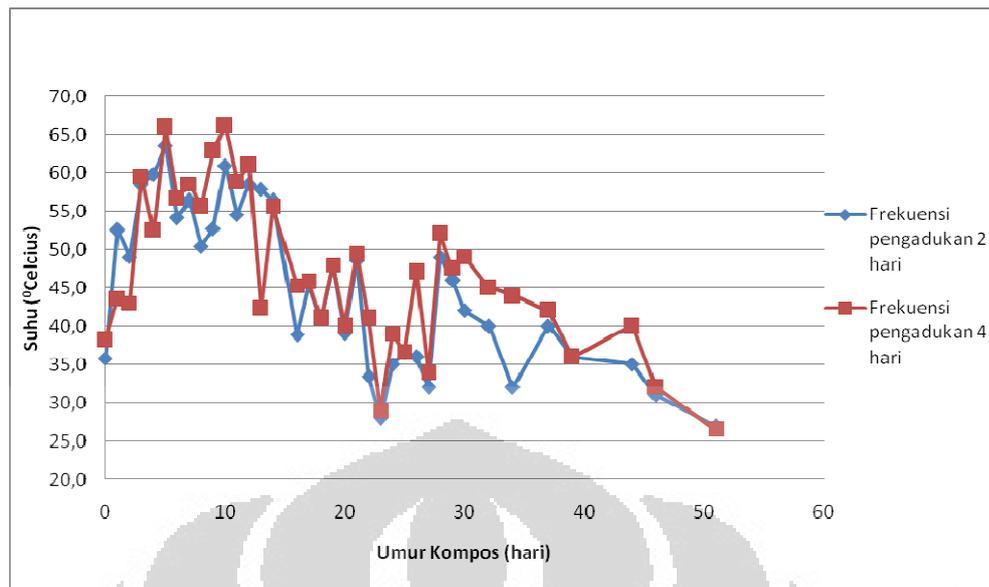
Pengomposan dengan frekuensi pengadukan 4 hari melalui 3 fase, yaitu *lag phase*, *active phase*, dan *maturity phase*. *Lag phase* berlangsung selama 4 hari, yaitu dari hari ke-0 sampai hari ke-4. Saat berada pada *lag phase*, substrat *feedstock* kompos masih sangat banyak. Jumlah substrat yang banyak membuat aktivitas mikroorganisme menjadi tinggi. Fase ini kemudian dilanjutkan dengan *active phase*. Saat fase ini berlangsung jumlah mikroorganisme meningkat secara eksponensial. Jumlah mikroorganisme yang banyak sebanding dengan aktivitasnya yang semakin tinggi, sehingga mampu menghasilkan suhu yang tinggi. Suhu tertinggi yang dicapai adalah 66,4°C pada hari ke-5. Durasi berlangsungnya *active phase* adalah 24 hari, yaitu dari hari ke-5 sampai hari ke-28. Suhu pada hari ke-28 adalah 55°C (suhu bagian tengah). Perubahan suhu pada *active phase* pengomposan sangat terlihat pada grafik. Fase *plateau* seperti pada teori Tchobanoglous (2002) terjadi sebelum akhirnya *maturity phase*. Perubahan suhu sangat dipengaruhi oleh jumlah substrat, aktivitas

mikroorganisme, dan faktor lingkungan. Pada Gambar 5.7. terdapat satu titik dalam rentang hari ke-20 dan 25 yang sangat rendah. Titik tersebut menunjukkan penurunan suhu kompos saat cuaca sedang hujan. Fase yang terakhir adalah *maturation phase* yang dimulai dari hari ke-16 sampai berakhirnya proses pengomposan. Suhu yang dihasilkan pada hari ke-51 adalah $26,5^{\circ}\text{C}$. Suhu ini telah memenuhi nilai yang dipersyaratkan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik, yaitu suhu sesuai dengan suhu air tanah (27°C).

5.2.3 Analisis Perbandingan Frekuensi Pengadukan Terhadap Suhu

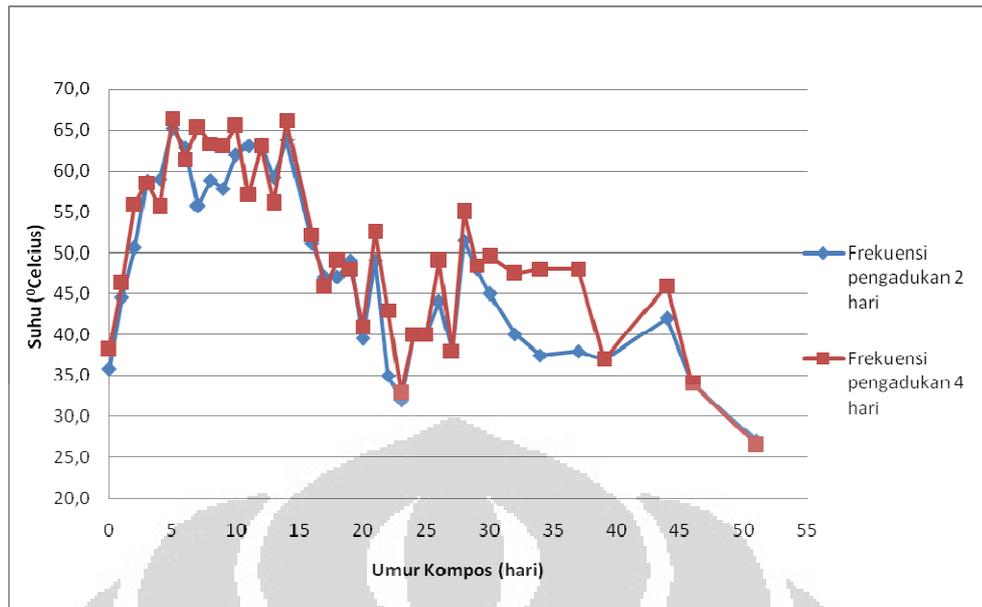
Bagian subbab ini akan menguraikan perbandingan kedua frekuensi pengadukan terhadap suhu yang dicapai. Pada subbab sebelumnya telah dianalisis masing-masing frekuensi pengadukan terhadap suhu yang dihasilkan. Durasi *lag phase*, *active phase*, dan *maturation phase* sama. Perbedaan terdapat pada suhu tertinggi yang dicapai dan suhu akhir dari *active phase*. Untuk mendapatkan analisis yang lebih detail, maka sesuai dengan metode pengukuran suhu pada Bab 3, dimana suhu yang diukur adalah suhu kompos pada bagian atas, tengah, dan bawah komposter, oleh karena itu, analisis perbandingan dilakukan terhadap tiga bagian tersebut.

Suhu kompos pada bagian atas ditunjukkan pada Grafik 5.8. Kompos dengan frekuensi pengadukan 4 hari cenderung menghasilkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan kompos dengan frekuensi pengadukan 2 hari. Namun, pengecualian terhadap suhu yang dihasilkan pada hari ke-13. Diduga kondisi ini dipengaruhi oleh kondisi hari tersebut sedang turun hujan. Secara tidak langsung, hujan mempengaruhi suhu kompos. Air hujan memang tidak langsung jatuh di atas permukaan kompos tetapi percikan atau tempias air hujan dapat mengubah kelembaban pada kompos sehingga mempengaruhi kerja mikroorganisme, suhu pada bagian atas komposter menjadi tidak terlalu tinggi.



Gambar 5.8 Grafik Suhu Kompos Bagian Atas
 Sumber: Lampiran Tabel B.1 dan B.2

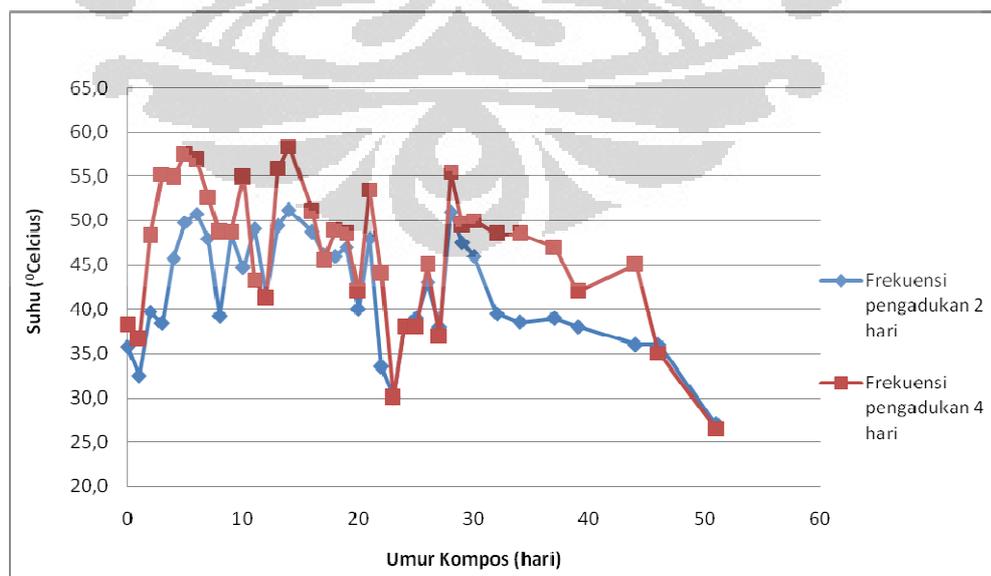
Suhu kompos pada bagian tengah lebih tinggi dibandingkan suhu pada bagian atas dan bawah kompos. Menurut teori Insam (2001) dalam Diaz, et. al., (2001), pengadukan kompos yang dilakukan secara teratur dan berkala akan membuat substrat berpindah ke arah tengah. Oleh karena itu, mikroorganisme pun akan berpindah ke arah substrat. Aktivitas mikroorganisme yang berpusat di bagian tengah inilah yang menghasilkan suhu tinggi pada bagian tengah kompos. Gambar 5.9 menunjukkan grafik suhu kompos pada bagian tengah. Walaupun perbedaan suhu antara pengadukan 2 dan 4 hari sedikit, contohnya pada rentang hari ke-5 sampai 10 dan setelah hari ke-30, tetapi secara umum suhu kompos pengadukan 4 hari lebih tinggi dibanding dengan kompos pengadukan 2 hari. Menurut Haug (1993), ada tiga tujuan dari pengadukan, selain untuk suplai oksigen dan mengurangi kelembaban dalam *feedstock* kompos, pengadukan juga bertujuan untuk mengurangi panas agar suhu dapat dikontrol. Sama artinya dengan kompos frekuensi pengadukan 2 hari mendapatkan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan kompos frekuensi pengadukan 4 hari, sehingga lebih banyak panas yang akan keluar ke udara dan menyebabkan suhu menjadi lebih rendah.



Gambar 5.9 Grafik Suhu Kompos Bagian Tengah

Sumber: Lampiran Tabel B.1 dan B.2

Suhu kompos pada bagian bawah cenderung lebih rendah dibandingkan dengan bagian atas dan tengah. Hal ini bisa terjadi karena kompos pada bagian bawah memiliki tingkat kelembaban yang tinggi akibat air yang terkandung dalam *feedstock* kompos terserap hingga ke bagian bawah. Jika dibuat perbandingan, suhu bagian bawah dari kompos dengan frekuensi pengadukan 4 hari lebih tinggi dibandingkan dengan kompos berfrekuensi pengadukan 2 hari.



Gambar 5.10 Grafik Suhu Kompos Bagian Bawah

Sumber: Lampiran Tabel B.1 dan B.2

Kesimpulan yang diperoleh dari analisis suhu pada ketiga bagian kompos adalah suhu maksimum dari kompos dengan frekuensi pengadukan 4 hari lebih tinggi daripada kompos dengan frekuensi pengadukan 2 hari, seperti yang terlihat dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Suhu Kompos

Kompos	Suhu	Suhu Maksimum Kompos	Suhu Maksimum Bagian		
			Atas	Tengah	Bawah
Pengadukan 2 hari		65,2	63,5	65,2	51,2
Pengadukan 4 hari		66,4	66,2	66,4	58,4

Sumber: Lampiran Tabel B.1 dan B.2

Proses pengomposan yang mencapai suhu termofilik diharapkan dapat membunuh bakteri patogen *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp yang terkandung dalam *feedstock* kompos. Semakin lama durasi suhu termofilik terjadi, maka semakin baik untuk menciptakan kondisi yang dapat membunuh bakteri patogen. Namun, selama pengomposan, suhu termofilik ($>55^{\circ}\text{C}$) tidak berlangsung secara kontinu selama *active phase*. Hal ini disebabkan oleh faktor lingkungan, seperti hujan. Suhu yang dicapai selama pengomposan dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Suhu Selama Pengomposan

Kompos	Suhu	Durasi
Frekuensi Pengadukan 2 hari	55-60	2 hari + 3 hari
	61-65	2 hari + 4 hari
	66-70	-
Frekuensi Pengadukan 4 hari	55-60	2 hari + 2 hari
	61-65	6 hari + 1 hari
	66-70	1 hari + 1 hari

Sumber: Lampiran Tabel B.1 dan B.2

Faktor lingkungan seperti hujan mempengaruhi kelembaban kompos sehingga membuat aktivitas mikroorganisme menjadi rendah. Selain itu, ketersediaan substrat kompos juga mempengaruhi suhu. Ketika jumlah substrat semakin sedikit, maka suhu menjadi semakin rendah akibat penurunan aktivitas mikroorganisme dalam mendekomposisi substrat. Pada bagian ini akan dianalisis penurunan suhu akibat cuaca. Penelitian ini dilakukan selama 45 hari, mulai dari 28 Januari 2012 sampai 12 Maret 2012 dan pada bulan Februari 2012. Pada saat

percobaan pengomposan dilakukan umumnya hampir setiap hari terjadi hujan. Tabel 5.3 menunjukkan suhu kompos saat hujan turun, yaitu pada hari Jumat, tanggal 3, 10, dan 17 Februari 2012. Suhu dari ketiga hari tersebut kemudian dibandingkan dengan suhu satu hari sebelum dan sesudahnya. Perbedaan hanya terdapat pada kompos pertama dengan frekuensi pengadukan 2 hari. Pada minggu pertama, suhu kompos setelah terjadinya hujan (3 Februari) terlihat mengalami penurunan. Sedangkan, untuk hari-hari lainnya, suhu kompos setelah terjadi hujan tetap mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa cuaca dapat mempengaruhi suhu kompos, apalagi bila metode yang digunakan adalah *windrow* dengan proses pengadukan dan lubang di sisi-sisi komposter yang dibuat untuk mempertahankan proses pengomposan tetap dalam kondisi aerobik. Berikut adalah tabel yang menunjukkan perbedaan suhu kompos pada saat hujan berlangsung yang ditunjukkan dengan kolom berwarna hijau. Suhu ini diukur pada bagian tengah komposter.

Tabel 5.3 Suhu Kompos Saat Hujan

Tanggal Kompos	Minggu ke-1			Minggu ke-2			Minggu ke-3		
	2	3	4	9	10	11	16	17	18
Frekuensi Pengadukan 2 hari	65,2	63,8	55,7	63,3	59,3	63,7	49	39,5	49,0
Frekuensi Pengadukan 4 hari	66,4	61,4	65,3	63,0	56,1	66,1	48	41,0	52,5

Sumber: Lampiran Tabel B.1 dan B.2

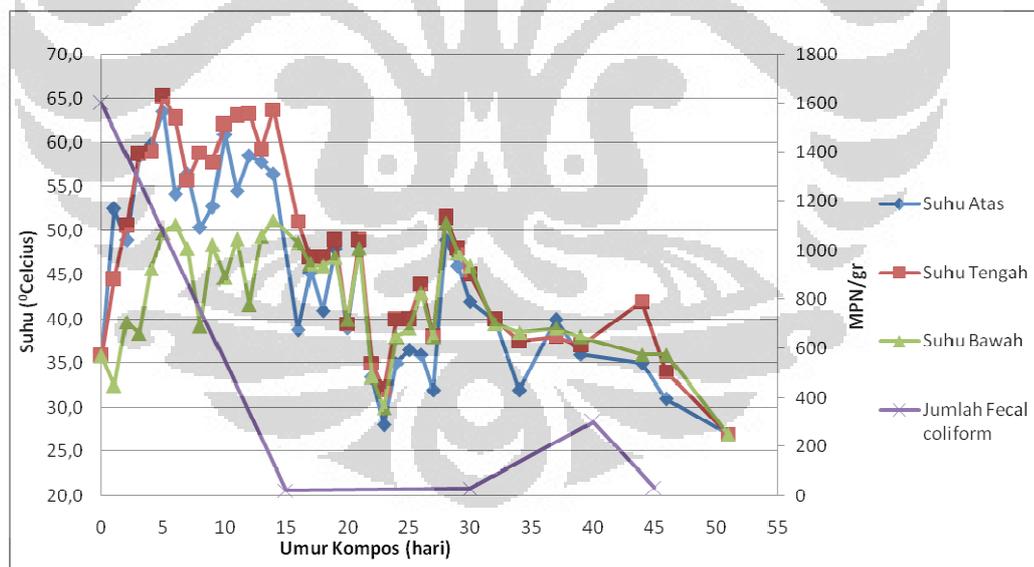
5.3 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan Terhadap Parameter Mikrobiologis Kompos

Pada subbab ini akan dibahas mengenai pengaruh frekuensi pengadukan terhadap mikrobiologis kompos. Frekuensi pengadukan yang berbeda menghasilkan suhu yang berbeda. Suhu inilah yang mempengaruhi aktivitas dan perkembangbiakan mikroorganisme dalam kompos. Mikrobiologis kompos yang dibahas adalah *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp.

5.3.1 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan Terhadap Jumlah *Fecal coliform*

Sampel dan metode pengujian telah dijelaskan pada Bab 3. Data hasil pengujian terdapat dalam Lampiran 3 “Data Pengujian Mikrobiologis dan Volume Kompos” pada bagian Tabel C.1 dan C.4. Perbandingan jumlah dan suhu yang dicapai selama pengomposan dengan frekuensi pengadukan 2 hari dibuat dalam bentuk grafik (Gambar 5.8).

Jumlah *Fecal coliform* pada saat awal pengomposan dengan frekuensi pengadukan 2 hari terlihat masih sangat tinggi, yaitu >1600 MPN/gr. Hal ini menunjukkan bahwa *feedstock* kompos mengandung *Fecal coliform* yang tinggi, yang terutama berasal dari *feedstock* lumpur tinja. Pengadukan yang dilakukan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme, begitu pula dengan *Fecal coliform*. Aktivitas tersebut menghasilkan beberapa fase. Terdapat 3 fase dalam proses pengomposan (Tchobanoglous, 2002), yaitu *lag phase*, *active phase*, dan *maturity phase*.



Gambar 5.11 Grafik Suhu¹ dan Jumlah *Fecal coliform* Kompos Frekuensi Pengadukan 2 Hari²

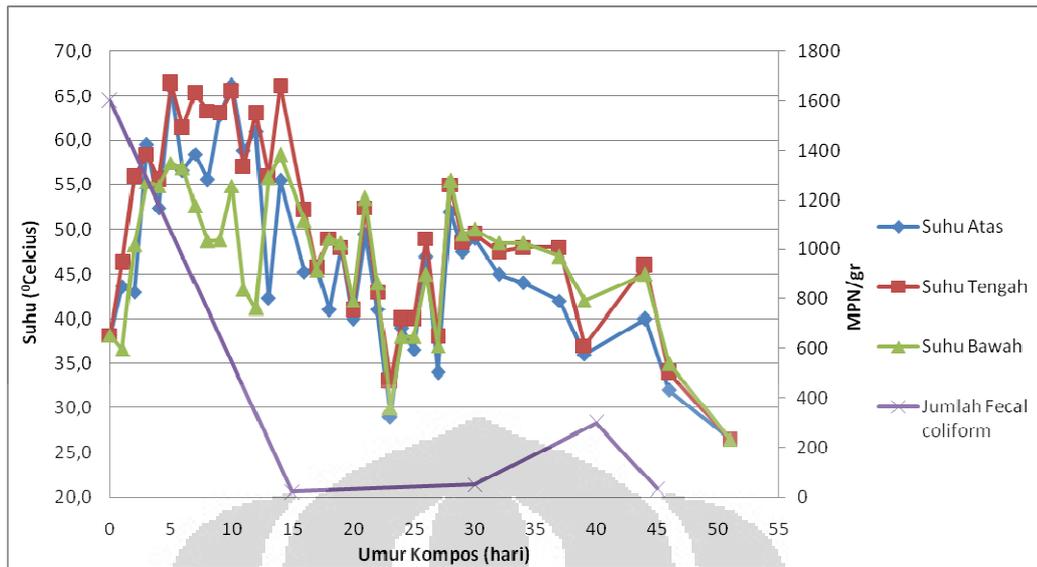
Sumber: ¹Lampiran Tabel B.1, ²Lampiran Tabel C.1

Ketiga fase ini telah dibahas sebelumnya dalam analisis suhu pada Subbab 5.2. Sesuai dengan U.S. EPA (1979) dalam Tchobanoglous, et. al. (1993), bahwa pengontrolan bakteri patogen selama pengomposan dapat dilakukan dengan

mempertahankan 55°C selama 15 hari atau lebih. Jika dihubungkan dengan fase pengomposan, maka suhu 55°C terdapat di dalam *active phase*. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *active phase* dalam proses pengomposan dengan frekuensi pengadukan 2 hari berlangsung selama 24 hari. Namun, suhu $\geq 55^{\circ}\text{C}$ pada percobaan pengomposan ini hanya dapat berlangsung selama 11 hari. Durasi tersebut belum cukup untuk memenuhi persyaratan sebagaimana yang diatur oleh U.S. EPA (1979). Namun, pada saat pengujian *Fecal coliform* dilakukan pada hari ke-15, jumlah *Fecal coliform* terlihat mengalami penurunan hingga 98,5% menjadi 23 MPN/gr. Dengan demikian, suhu $>55^{\circ}\text{C}$ yang hanya bertahan selama 11 hari ternyata cukup efektif untuk membunuh bakteri patogen *Fecal coliform*.

Fase selanjutnya di dalam pengomposan adalah *maturation phase*. Berdasarkan hasil pengukuran, terlihat bahwa suhu masih bertahan cukup tinggi. Walaupun sedikit menurun dibandingkan dengan suhu pada *active phase*. Dalam fase ini, *Fecal coliform* terlihat bertambah jumlahnya atau jumlah pada saat dilakukan pengukuran pada hari ke-30 menunjukkan 30 MPN/gr. Nilai tersebut menunjukkan terjadi sedikit kenaikan jumlah *Fecal coliform* dibandingkan dengan jumlah pada hari ke-15. Namun, fase maturasi terus berlangsung hingga suhu kompos turun. Pada hari ke-40, jumlah *Fecal coliform* kembali meningkat hingga mencapai 300 MPN/gr. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah *Fecal coliform* berbanding terbalik dengan suhu yang dicapai selama proses pengomposan.

Data jumlah bakteri *Fecal coliform* untuk kompos dengan frekuensi pengadukan 4 hari terdapat dalam Lampiran 3 “Data Pengujian Mikrobiologis dan Pengukuran Volume Kompos” pada bagian Tabel C.2. Pada awal pengomposan, nilai bakteri *Fecal coliform* mencapai >1600 MPN/gr. Suhu $\geq 55^{\circ}\text{C}$ terjadi selama 13 hari dalam *active phase*. Dengan suhu yang dicapai selama *active phase* tersebut, maka pada hari ke-15, nilai jumlah *Fecal coliform* mencapai 23 MPN/gr. Selanjutnya, pengujian hari ke-30 yang telah memasuki *maturation phase*, menunjukkan nilai jumlah 50 MPN/gr. Jumlah terus meningkat seiring dengan penurunan suhu dan pada hari ke-40, nilai jumlah menunjukkan angka 300 MPN/gr. Perbandingan suhu dan jumlah *Fecal coliform* dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Grafik Suhu¹ dan Jumlah *Fecal coliform* Kompos Frekuensi Pengadukan 4 Hari²

Sumber: ¹Lampiran Tabel B.2, ²Lampiran Tabel C.2

Manning (2005) mengatakan bahwa *Fecal coliform* merupakan bakteri mesofilik. Bakteri mesofilik adalah bakteri yang tumbuh dan berkembang biak secara optimum pada suhu 37⁰C. Namun, tidak dapat tumbuh dan berkembang biak dengan baik, bahkan mati pada suhu termofilik. Suhu termofilik inilah yang dicapai dalam pengomposan ini selama *active phase*. Sedangkan, suhu yang dicapai selama *maturation phase* adalah suhu mesofilik, dimana suhu pengomposan kembali menjadi suhu optimum bagi *Fecal coliform* untuk tumbuh dan berkembang biak. Dalam beberapa proses pengomposan, spesies bakteri *Fecal coliform* yang biasanya diuji adalah bakteri *Escherichia coli*. Mengacu kepada penelitian yang dilakukan oleh Gotass (1956), Roediger (1967), dan Stem (1974) yang dirangkum dalam Tabel 2.13. Suhu tersebut dapat tercapai pada saat proses pengomposan ini. Namun, tidak berarti suhu tersebut dapat membunuh seluruh *Fecal coliform* di dalam kompos. Hal inilah yang diduga menjadi penyebab mengapa *Fecal coliform* yang tertinggal atau tidak mati kembali berkembang biak ketika lingkungannya mendukung pertumbuhannya. Kondisi ini diperkuat dengan jumlah *Fecal coliform* yang kembali meningkat pada hari ke-30 dan 40.

Beberapa alasan yang menyebabkan jumlah *Fecal coliform* masih menjadi meningkat setelah melewati *active phase* (suhu termofilik). Di antaranya

adalah suhu yang dihasilkan tidak merata ke seluruh bagian kompos. Ketika suhu tidak merata, maka masih ada ruang bagi *Fecal coliform* untuk dapat bertahan hidup. Oleh karena itu, walaupun suhu yang diukur pada bagian atas, tengah, dan bawah komposter mencapai suhu termofilik pada saat *active phase*. Namun tidak memberikan jaminan bahwa suhu tersebut terjadi secara merata di seluruh bagian komposter. Selain itu, ada juga faktor lain yang menyebabkan keberadaan *Fecal coliform* di kompos, yaitu faktor cuaca. Ketika cuaca panas, maka kompos masih dapat mempertahankan kondisinya yang tetap kering, tetapi ketika hujan turun dan limpasan air hujan mengenai kompos, maka suhu kompos akan turun dan kondisinya menjadi basah. Kondisi seperti ini yang memungkinkan *Fecal coliform* kembali berkembang biak. Suhu yang tidak merata dan cuaca yang hujan menghasilkan suatu kondisi yang dikenal dengan istilah “*regrowth bacteria*”.

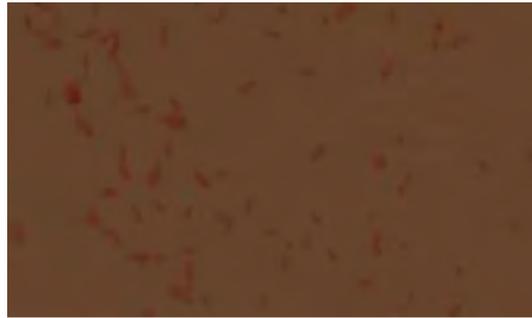
Pengujian *Fecal coliform* hari ke-40 pada kompos dengan frekuensi pengadukan 2 dan 4 hari menunjukkan kondisi “*regrowth bacteria*”, dimana nilai jumlah bakteri meningkat. Mengacu pada teori Selna and Smith (1976) dalam Haug (1997), menyimpulkan bahwa pengomposan dalam penelitian seperti ini memungkinkan adanya kondisi tersebut. Walaupun penelitian yang dilakukan Selna and Smith tersebut ada di negara dengan 4 musim, namun cuaca saat melakukan pengomposan ini juga sangat mempengaruhi kelembaban kompos. Kim, et. al., (2009) juga menyatakan adanya *regrowth bacteria* saat suhu lingkungan mencapai 22⁰C. Dalam penelitian ini, *regrowth bacteria Fecal coliform* terjadi saat suhu masih >40⁰C. Untuk mengetahui pengaruh kelembaban terhadap jumlah *Fecal coliform*, dilakukan *treatment* tambahan pada kompos dengan cara diangin-anginkan untuk mengurangi kelembabannya. Kompos dari komposter yang berukuran 1 m³, diambil lalu dimasukkan ke dalam tempat dan tetap dibiarkan terbuka. Hal ini cukup berhasil, karena pada hari ke-45, angka MPN *Fecal coliform* kembali turun.

Peristiwa “*regrowth bacteria*” pada percobaan pengomposan ini dibuktikan melalui pengujian pewarnaan gram yang bertujuan untuk mengetahui secara pasti jenis bakteri yang masih bertahan hidup setelah fase termofilik. *Fecal coliform* merupakan jenis bakteri non-spora, sehingga tidak mungkin untuk dapat bertahan hidup pada suhu termofilik dengan membentuk spora. Dalam pengujian

pewarnaan gram, preparat yang digunakan dalam pewarnaan gram diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 1250 kali. Kedua gambar hasil pengamatan dari pewarnaan gram sampel kompos di bawah mikroskop ditunjukkan oleh Gambar 5.13. Untuk lebih menguatkan analisis ini, sempat dilakukan pewarnaan gram untuk bakteri *Escherichia coli* (indikator *Fecal coliform*) yang murni dan hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 5.14. Gambar 5.13 tidak menunjukkan karakteristik bakteri *Fecal coliform* sebagaimana yang dijelaskan oleh *New Hampshire Department of Environmental Services* (2003), yaitu berbentuk batangan. Hasil dari pewarnaan gram pada bakteri *Fecal coliform* juga akan menunjukkan warna merah muda (pink). Gambar bakteri pada frekuensi pengadukan 2 dan 4 hari lebih didominasi oleh bakteri yang berbentuk *coccus*, hanya sedikit yang berbentuk *bacillus*. Warna yang ditunjukkan oleh Gambar 5.13 adalah campuran dari warna merah muda (pink) dan ungu (violet). Jika dibuat perbandingan antara Gambar 5.13 dan 5.14, akan terlihat perbedaannya bahwa warna ungu (violet) adalah warna bakteri Gram positif hasil pewarnaan gram. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa bakteri yang menunjukkan hasil positif pada media cair *Bile Green Lactose Broth* (BGLB) tidak hanya terdiri dari *Escherichia coli* (indikator *Fecal coliform*), tetapi juga terdapat bakteri lain, yaitu bakteri Gram positif.



Gambar 5.13 Bakteri pada Kompos
 Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012



Gambar 5.14 Bakteri Gram Negatif *Escherichia coli*
 Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012

Bakteri Gram positif dan negatif terdapat dalam kompos. *Feedstock* lumpur tinja mengandung kedua jenis bakteri tersebut. Bakteri Gram negatif umumnya berasal dari feses manusia. Bakteri Gram positif berasal dari air kemih yang masih terkandung dalam lumpur tinja. Mengacu pada Anwar (2008) yang tersaji dalam Tabel 2.5, persentase bakteri Gram positif yang terkandung dalam air kemih cukup besar yaitu 46,66%, sedangkan sisanya adalah bakteri Gram negatif. Air kemih yang tercampur dengan lumpur tinja inilah yang diduga menjadi sumber bakteri Gram positif ini.

5.3.2 Analisis Pengaruh Frekuensi Pengadukan Terhadap Jumlah *Salmonella* sp

Pengujian bakteri *Salmonella* sp dilakukan dengan metode MTF (*Multiple-Tube Fermentation*). Pengujiannya dilakukan pada hari ke-0, 15, dan 30. Berikut adalah data hasil pengujian *Salmonella* sp:

Tabel 5.4 Hasil Pengujian *Salmonella* sp Frekuensi Pengadukan 2 Hari

Hari ke-	Uji Penguat			Angka MPN/4 gr
	5 ml	0,5 ml	0,05 ml	
0	0	0	0	<2
15	0	0	1	2
30	0	0	1	2

Sumber: Hasil Olahan, 2012

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Salmonella* sp Frekuensi Pengadukan 4 Hari

Hari ke-	Uji Penguat			Angka MPN/4 gr
	5 ml	0,5 ml	0,05 ml	
0	0	0	1	2
15	0	0	1	2
30	0	0	0	<2

Sumber: Hasil Olahan, 2012

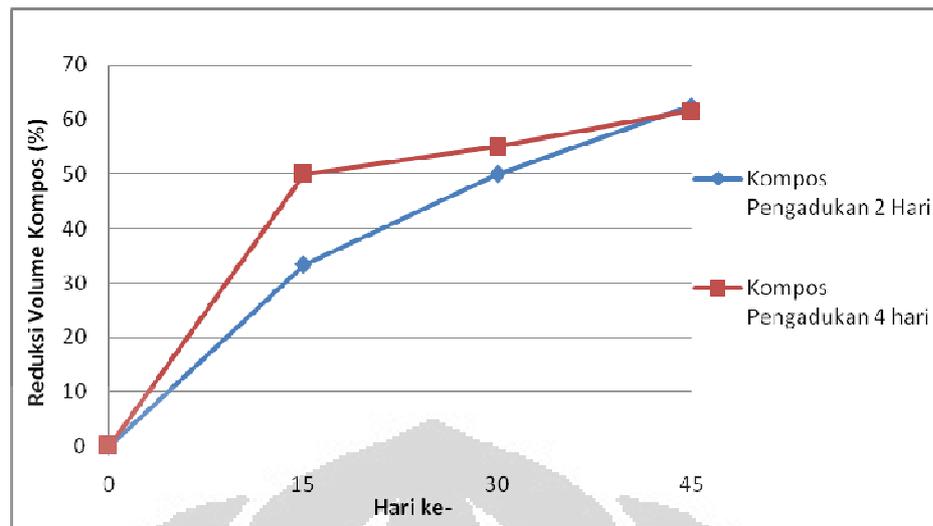
Pencapaian suhu pada saat pengomposan dengan frekuensi pengadukan yang berbeda mampu membuat jumlah *Salmonella* sp sesuai dengan nilai yang dipersyaratkan dalam SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. SNI tersebut memberikan batas jumlah *Salmonella* sp, yaitu 3 MPN/4 gr. Pada awal pengomposan, jumlah *Salmonella* sp pada *feedstock* kompos dengan pengadukan 2 hari adalah <2 MPN/4 gr. Namun, pada hari ke-15 dan 30 jumlahnya meningkat menjadi 2 MPN/4 gr. Hasil yang lebih baik ditunjukkan oleh percobaan pengomposan dengan frekuensi pengadukan 4 hari. Jumlah *Salmonella* sp pada *feedstock* kompos dengan frekuensi pengadukan 4 hari adalah 2 MPN/4 gr. Selanjutnya, pada hari ke-15, jumlahnya tetap dan pada hari ke-30, jumlahnya menurun menjadi <2 MPN/4 gr.

Jumlah *Salmonella* sp pada *feedstock* kompos dengan frekuensi pengadukan 4 hari lebih baik dari pengadukan 2 hari. Hal ini menunjukkan bahwa pengadukan dapat mempengaruhi jumlah *Salmonella* sp di dalam komposter melalui suhu yang dihasilkan. Pada pengujian *Fecal coliform*, nilai MPN berubah-ubah, baik mengalami penurunan ataupun kenaikan. Pengujian *Salmonella* sp pun menunjukkan hal sama tetapi tidak terlalu jauh, hanya sebesar <2 MPN/4gr menjadi 2 MPN/4 gr. Peristiwa tersebut disebut *regrowth bacteria* seperti yang terjadi pada *Fecal coliform*. Salah satu alasan terjadinya *regrowth* adalah suhu untuk membunuh *Salmonella* sp seperti yang telah dirangkum pada Tabel 2.14, tidak terpenuhi seluruhnya dalam percobaan pengomposan ini. Namun, jika ingin dibandingkan dengan *Fecal coliform*, menurut Tiqua, et al. (1998), *Salmonella* sp lebih cepat mati dibandingkan dengan *Fecal coliform* dan bakteri patogen lain. Oleh karena itu, karakteristik yang berbeda dari kedua jenis bakteri tersebut yang menyebabkan adanya perbedaan jumlah keduanya pada percobaan pengomposan ini.

5.3.3 Titik Awal Kematangan Kompos

Kematangan kompos adalah keadaan dimana kompos telah siap untuk digunakan sebagai penyubur tanah. Banyak parameter yang harus diuji untuk menetapkan kematangan kompos. Keterbatasan dalam penelitian membuat tidak terpenuhinya seluruh parameter untuk diuji. Oleh karena itu, penelitian ini hanya dibatasi sampai titik awal kematangan kompos dengan melakukan analisis terhadap volume, bau, warna dan tekstur kompos.

Reduksi atau pengurangan volume kompos terjadi akibat proses degradasi. Degradasi dalam pengomposan melibatkan mikroorganisme. Mikroorganisme seperti, bakteri, *Actinomycetes*, fungi berperan dalam proses degradasi sesuai dengan karakteristiknya masing-masing. Karakteristik tersebut, misalnya suhu, kelembaban, kandungan oksigen. Pengukuran reduksi volume kompos dilakukan dengan menggunakan penggaris/meteran bangunan terhadap ketinggian *feedstock* kompos di dalam komposter. Pengukuran dilakukan pada hari ke-0 sebagai awal dilakukannya pengomposan, hari ke-15, 30, dan 45. Hasil pengukuran selanjutnya dihitung secara matematis. Seluruh perhitungan volume terdapat dalam Lampiran 3 (Tabel C.6 dan C.7). Kemudian, data dalam kedua tabel tersebut disajikan dalam Gambar 5.15. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa *feedstock* kompos dengan frekuensi pengadukan 4 hari mengalami reduksi yang lebih besar, yaitu 50%, sedangkan *feedstock* kompos dengan frekuensi pengadukan 2 hari hanya mengalami reduksi sebesar 30%. Hal ini diduga karena *feedstock* hanya mendapatkan pengadukan satu kali dalam 4 hari, sehingga memungkinkan mikroorganisme beraktivitas lebih lama dan lebih banyak mendegradasi substrat *feedstock*. Hari ke-30, *feedstock* dengan frekuensi pengadukan 2 hari mengalami reduksi sebesar 50% dan *feedstock* dengan frekuensi pengadukan 4 hari mengalami reduksi 55%. Untuk pengukuran di hari ke-45, *feedstock* dengan frekuensi pengadukan 2 hari mengalami reduksi sebesar 62,5% dan *feedstock* dengan frekuensi pengadukan 4 hari mengalami reduksi 61,7% (reduksi dihitung dari volume *feedstock* awal).



Gambar 5.15 Grafik Reduksi Volume Kompos

Sumber: Lampiran Tabel C.6 dan C.7

Setelah mengalami reduksi volume *feedstock* yang cukup besar pada lima belas hari pertama, maka untuk hari-hari selanjutnya reduksi volume tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan karena jumlah substrat dalam *feedstock* sangat banyak dan kadar air juga masih sangat baik untuk mendukung aktivitas mikroorganisme dalam proses degradasi, sedangkan untuk hari-hari selanjutnya jumlahnya semakin sedikit. Jumlah substrat dan kadar air tersebut dibuktikan oleh Amanah (2012) yang melakukan pengujian nilai C/N dan kadar air. Pada hari ke-45 nilai C/N *feedstock* kompos dengan frekuensi pengadukan 2 hari adalah 7,68 dan frekuensi pengadukan 4 hari adalah 10,56, sedangkan kadar air *feedstock* kompos dengan frekuensi pengadukan 2 hari adalah 31,22% dan frekuensi pengadukan 4 hari adalah 31,13%. Nilai C/N dan kadar air tersebut telah sesuai dengan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik, yaitu 10-20 dan <50%.

Persentase reduksi volume kompos sebenarnya tidak menjadi parameter dalam SNI Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Namun, reduksi volume dapat menunjukkan kandungan substrat dan kadar air yang dipersyaratkan dalam SNI tersebut. Menurut Larney, et. al., (2000) dalam Yue, et al., (2008), seperti yang dirangkum dalam Tabel 2.15, persentase reduksi kompos dipengaruhi oleh proses pengomposan, *feedstock* kompos, waktu pengomposan, dan musim saat melakukan pengomposan. Persentase reduksi volume kompos yang dicapai

dalam penelitian ini (62,5% dan 61,7%) hampir sama dengan pengomposan yang menggunakan metode *windrow* dengan pengadukan mekanik, *feedstock* kotoran sapi dan jerami, serta dilakukan selama 300 hari (10 bulan) saat musim dingin, yaitu persentase reduksi volume komposnya mencapai 64% (Larney, et. al., 2000). Meskipun di Indonesia tidak ada standar mengenai reduksi kompos, namun, menurut *Canadian Council of Ministry of Environment* dalam *Guidelines for Compost Quality* (1996) kompos dapat disimpulkan sudah menjadi matang, apabila reduksi materi organiknya telah melebihi 60%. Oleh karena itu, dengan menggunakan standar tersebut, maka kompos dalam penelitian ini dapat dikatakan telah matang.

Metode yang digunakan untuk menganalisis bau kompos pada penelitian ini adalah organoleptik, yaitu metode dengan menggunakan indera manusia, seperti penciuman. Untuk mengetahui bau kompos, diperlukan ketajaman penciuman. Oleh karena itu, setiap orang dapat memiliki pendapat yang berbeda mengenai bau. Bau yang dihasilkan selama proses pengomposan berkaitan dengan metode pengomposan yang digunakan dan menurut Tchobanoglous (1993), adanya perlakuan aerasi terhadap kompos akan mengurangi bau yang tidak sedap. Oleh karena sistem pengomposan yang digunakan pada penelitian ini adalah *windrow* dan dilakukan pengadukan yang rutin, maka tidak terlalu mengeluarkan bau yang tidak sedap. Bau yang tidak sedap biasa timbul ketika kondisi anaerobik. Bau yang dirasakan hanya timbul pada saat dilakukan pengadukan di awal percobaan pengomposan. Selanjutnya, bau juga dirasakan pada saat suhu kompos tinggi (fase termofilik). Bau muncul terutama saat aktivitas pengadukan karena *feedstock* kompos pada bagian tengah mengeluarkan uap panasnya dan dalam uap tersebut terkandung bau yang tidak sedap. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hanajima, et. al., (2010), di mana bau memang dihasilkan selama fase termofilik. Namun, bau yang dihasilkan ini tidak terlalu kuat dan mengganggu. Bila kompos dibiarkan atau tidak diaduk, maka kompos tidak mengeluarkan bau yang tidak sedap. Bau yang dihasilkan pada akhir pengomposan hampir sama dengan bau tanah pada umumnya.

Analisis warna dan tekstur kompos tidak menggunakan alat khusus untuk melihat dan menganalisis warna dan tekstur kompos, namun hanya menggunakan

metode organoleptik atau penilaian sensorik dengan indera, misalnya mata dan kulit. Sampel yang digunakan pun tidak secara khusus diambil dari komposter tetapi dilihat secara langsung bagaimana warna dan teksturnya di dalam komposter. Pada awal percobaan pengomposan, warna *feedstock* adalah cokelat. Warna tersebut merupakan campuran dari sampah organik yang telah dicacah yang didominasi oleh warna kuning, serta lumpur tinja yang berwarna hitam. Pada saat melakukan pengomposan, warna juga dijadikan parameter untuk melihat apakah *feedstock* lumpur tinja dan sampah organik tercacah telah dicampurkan dengan benar dan merata. Apabila masih terlihat warna hitam pada sisi komposter, artinya lumpur tinja belum tercampur dengan sampah organik.

Tekstur kompos pada awal percobaan pengomposan adalah kasar dan keras karena masih terdapat butiran yang cukup besar dari sampah organik. Selain itu, lumpur tinja dan sampah organik tercacah dapat dibedakan. Lumpur tinja memiliki karakteristik lumpur pada umumnya, yaitu dalam fase cairan kental dan terdapat padatan yang halus dan kasar.

Warna dan tekstur *feedstock* berubah selama proses pengomposan. Perubahan ini disebabkan oleh proses dekomposisi oleh mikroorganisme yang menyebabkan warna kompos yang awalnya cokelat menjadi hitam. Pada saat mulai berubah menjadi kompos, warna kompos yang kehitaman seperti tanah inilah yang sesuai dengan kriteria dalam SNI Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Selain itu, perubahan tekstur juga sangat terlihat. Ukuran sampah organik yang besar sudah hancur dan mengecil akibat adanya proses penguraian mikroorganisme selama pengomposan. Teksturnya sudah menyerupai tanah. Hal ini dikarenakan adanya pengurangan kadar air *feedstock* lumpur tinja pada hari ke-45.



Kompos Hari Ke-0



Kompos Hari Ke-4

Kompos Frekuensi Pengadukan 2
Hari Pada Hari Ke-39Kompos Frekuensi Pengadukan 4
Hari Pada Hari Ke-39

Gambar 5.16 Warna dan Tekstur Kompos

Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2012

BAB 6 PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis data, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Frekuensi pengadukan mempengaruhi suhu yang dicapai selama proses pengomposan. Suhu tertinggi dicapai pada hari ke-5 pengomposan. Komposter dengan frekuensi pengadukan 4 hari mencapai suhu tertinggi, yaitu $66,4^{\circ}\text{C}$, sedangkan komposter dengan frekuensi pengadukan 2 hari hanya mencapai suhu tertinggi $65,2^{\circ}\text{C}$. Suhu tinggi dapat bertahan selama 24 hari (hari ke-5 sampai ke-28).
- b. Frekuensi pengadukan yang menghasilkan pergerakan suhu mempengaruhi kualitas kompos secara mikrobiologis dengan parameter *Fecal coliform*. Kompos dengan frekuensi pengadukan 2 dan 4 hari menghasilkan jumlah bakteri *Fecal coliform* terendah yang dicapai pada hari ke-15, yaitu 23 MPN/gr yang dipersyaratkan dalam SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik, yaitu <1000 MPN/gr.
- c. Frekuensi pengadukan yang menghasilkan pergerakan suhu mempengaruhi kualitas kompos secara mikrobiologis dengan parameter *Salmonella* sp. Kompos dengan frekuensi pengadukan 2 dan 4 hari menunjukkan nilai jumlah *Salmonella* sp, yaitu <2 MPN/4gr dan 2 MPN/4gr pada awal melakukan percobaan. Untuk kompos dengan frekuensi pengadukan 2 hari, jumlah menjadi 2 MPN/4gr hingga akhir pengomposan, sedangkan untuk kompos dengan frekuensi pengadukan 4 hari mengalami penurunan jumlah menjadi <2 MPN/4gr pada hari ke-30. Nilai ini memenuhi jumlah *Salmonella* sp. yang dipersyaratkan dalam SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik, yaitu <3 MPN/4 gr.
- d. Frekuensi pengadukan yang efektif untuk percobaan pengomposan lumpur tinja dari *sludge drying bed* IPLT Kalimulya Depok adalah 4 hari karena selama percobaan pengomposan dapat menghasilkan suhu tertinggi dan

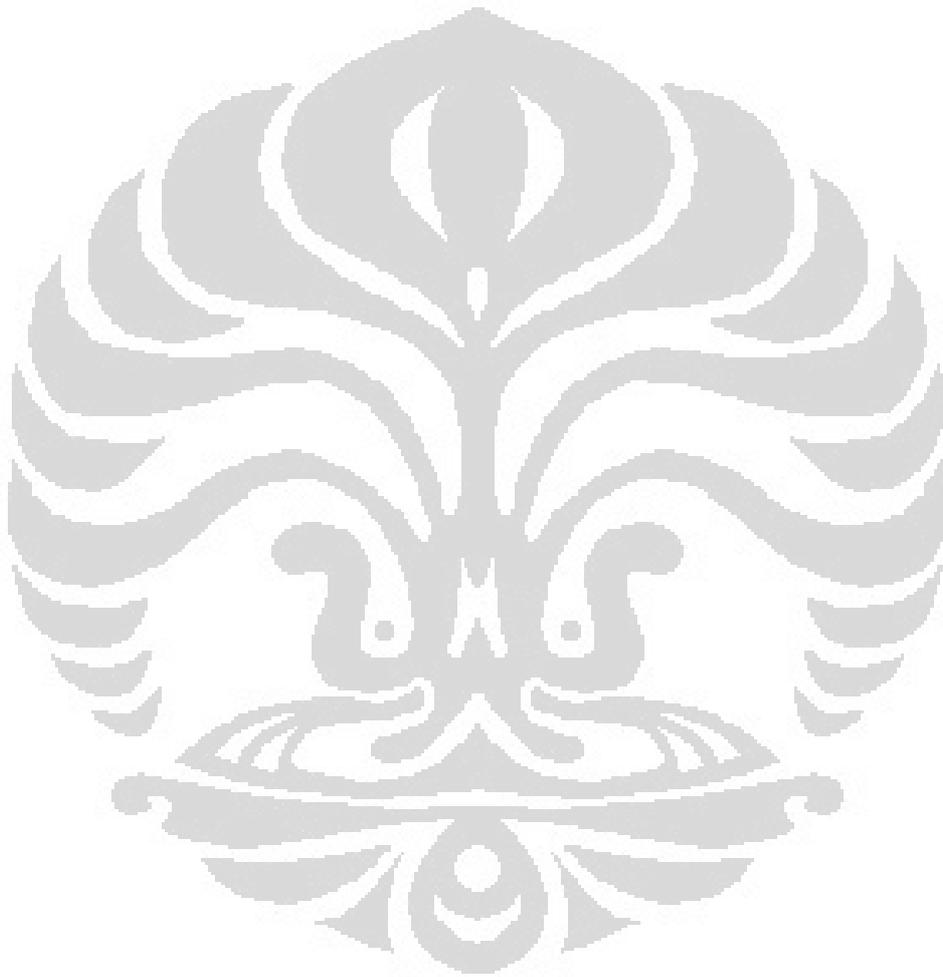
jumlah bakteri *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp yang dicapai juga memenuhi baku mutu.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan dari *effluent* IPLT Kalimulya Depok, lumpur yang ditampung dalam *sludge drying bed* dapat diintegrasikan dengan sampah organik pasar dan dijadikan sebagai *feedstock* dalam percobaan pengomposan. Dalam penelitian ini, lumpur tinja dan sampah organik pasar yang digunakan dalam 2 komposter untuk pengomposan selama 45 hari adalah 300 kg dan 1140 kg.
- b. Pemanfaatan kompos dengan *feedstock* lumpur tinja dan sampah organik pasar masih tetap berisiko terhadap munculnya beberapa jenis bakteri patogen, sehingga perlu diperhatikan penggunaan kompos tersebut hanya untuk tanaman *non-edible plant* (bukan tanaman pangan)
- c. Pengomposan dengan metode *open windrow* sebaiknya dilakukan pada tempat yang terlindung dari hujan. Hujan dapat mempengaruhi suhu dan kelembaban kompos serta menghasilkan kondisi yang cocok bagi bakteri untuk kembali berkembang biak.
- d. Perlu adanya pengolahan tambahan untuk kompos dari lumpur tinja, yaitu dengan diangin-anginkan supaya kelembabannya berkurang
- e. Perlu adanya penelitian lanjutan untuk frekuensi pengadukan yang lebih banyak selain dari 2 dan 4 hari
- f. Perlu adanya penelitian lanjutan untuk pemetaan atau memetakan temperatur atau suhu di dalam tumpukan kompos dengan tujuan untuk mengetahui apakah suhu kompos terjadi secara merata di seluruh bagian kompos di dalam komposter
- g. Perlunya penelitian lanjutan dari pengujian *Fecal coliform* mengenai spesies bakteri Gram positif termofilik dalam percobaan pengomposan untuk memastikan bakteri tersebut aman atau tidak berbahaya bagi manusia ketika kompos digunakan

- h. Perlunya penelitian lanjutan dengan menguji *Fecal coliform* dan *Salmonella* sp dengan menggunakan metode MTF (*Multitube Fermentation*). Walaupun metode MTF tidak disyaratkan dalam SNI, namun metode tersebut sangat membantu untuk mengetahui secara pasti jumlah bakteri dalam *feedstock* kompos.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahira (2011). *Klebsiella, Golongan Bakteri Pengganggu Pernapasan*. Diakses 4 Januari 2012.
- Amanah, Farisatul (2012). *Pengaruh Frekuensi Pengadukan Dan Komposisi Bahan Kompos Terhadap Kualitas Kompos Campuran Lumpur Tinja*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia: Depok.
- Anwar, R., (2008). *Bakteri Gram Positif dari Air Kemih*. Majalah Kedokteran Nusantara Vol. 41, No. 1, Maret 2008.
- Attorney, 2012. *Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins*. Diunduh pada 14 April 2012 melalui <http://shigellablog.com>
- Badan Pusat Statistik (2010), *Persentase Rumah Tangga Menurut Provinsi, Tipe Daerah dan Sanitasi Layak, 2009-2010*. Diakses pada Desember 2011, melalui http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&daftar=1&id_subyek=2¬ab=14
- Badan Standardisasi Nasional (2004). *Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik SNI 19-7030-2004*. Diakses 20 September 2011, dari Badan Standardisasi Nasional. http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/detail_sni/6926
- Brands, Alcamo, (2006). "Deadly Diseases and Epidemics Salmonella". Philadelphia: Chelsea House Publisher. Diakses 29 Oktober 2011 dari Library.nu http://ifile.it/godwyf/_Salmonella_Deadly_Diseases_and_Epidemics_.1_98x3j66ztx76x18.pdf

Canadian Council of Ministry of Environment(1996). *Guidelines for Compost Quality*. Winnipeg: Manitoba Statutory Publications

_____ (2005). *Guidelines for Compost Quality*. Winnipeg: Manitoba Statutory Publications

Compost Microbiology And The Soil Food (2011). Diakses pada tanggal 20 Mei 2012 melalui

<http://library.constantcontact.com/download/get/file/1101915097096-418/Compost+Microbiology+Soil+Food+Web.pdf>

Diaz, L.F., Savage, G.M., (2001). *Microbiology of The Composting Process. Compost Science and Technology Volume 8 Waste Management (Chapter 3)*. Diakses melalui 29 Oktober 2011 dari Library.nu

http://ifile.it/b2ea7f/_Compost_Science_and_Technology_Volume_8_Waste_Management_.I_98x3j66ztx76x18.pdf

_____ (2001). *Factors that Affect The Process. Compost Science and Technology Volume 8 Waste Management(Chapter 4)*. Diakses 29 Oktober 2011 dari Library.nu

http://ifile.it/b2ea7f/_Compost_Science_and_Technology_Volume_8_Waste_Management_.I_98x3j66ztx76x18.pdf

_____ (2001). *System Used in Composting. Compost Science and Technology Volume 8 Waste Management (Chapter 5)*. Diakses 29 Oktober 2011 dari Library.nu

http://ifile.it/b2ea7f/_Compost_Science_and_Technology_Volume_8_Waste_Management_.I_98x3j66ztx76x18.pdf

Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Depok (2011). *UPT IPLT*. Diakses melalui Presentasi Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Depok.

- Direktorat Jenderal Cipta Karya (2007). *Rencana Program Investasi Jangka Menengah Bidang PU/Cipta Karya*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Elango, et. al., (2009), “*Thermophilic Composting of Municipal Solid Waste*”. *Journal of Applied Energy*, 663-668. Diakses 19 Oktober 2011, dari Elsevier.
- Epstein, Eliot (1997) *The Science of Composting*. United State of America: Technomic Publishing Company, Inc.
- Erickson, et al. (2009), “*Pathogen Inactivation in Cow Manure Compost*”. *Journal of Agriculture*, 229-236. Diakses 19 Oktober 2011, dari Proquest. <http://search.proquest.com/docview/214881567?accountid=17242>
- Garsoni, S. 2010. *Alat Pencacah Pupuk Organik*. PT Cipta Visi Sinar Kencana: Jakarta.
- Gershuny, Martin, (2001). *Composting: Easy Methods for Every Gardener*. Diakses 29 Oktober 2011 dari Library.nu http://ifile.it/gnv04e/_The_Rodale_Book_of_Composting_Easy_Methods_for_Every_Gardener.1_98x3j66ztx76x18.pdf
- Groisman, Eduardo A. (2001). *Principles of Bacterial Pathogenesis*. Missouri: Washington University School of Medicine.
- Guentzel, 1996. *Medical Microbiology, 4th Edition*. University of Texas Medical Branch at Galveston. Diunduh melalui <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>
- Gustiani E., Gunawan A., (2010). *Membuat Kompos Kotoran Sapi Lebih Berkualitas*. Lembang: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Barat.

Diakses pada 29 November 2011 melalui <http://www.pustaka.litbang.deptan.go.id/publikasi/wr274054.pdf>

Hanajima, et.al, (2010). *Key Odor Components Responsible For The Impact On Olfactory Sense During Swine Feces Composting*. *Journal of Bioresources Technology*, 101, 2306-2310. Diakses pada 30 Maret 2012 melalui <http://www.sciencedirect.com>

Haug, R.T., (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. New York: Lewish Publisher.

Hasanuddin, Dodi, (2010). *Warga Bogor buang Tinja ke Depok*. Diunduh pada 1 April 2012 melalui <http://www.wartakota.co.id>

Hermann, Shann (1997). “*Microbial Community Changes During the Composting of Municipal Solid Waste*”, Volume 33: 78-85. Diakses 14 Januari 2012, dari Springerlink. <http://www.jstor.org/stable/4251471>

Hidayat, Cecep, (2010). *Profil Kelurahan Kalimulya*.

Idola, 2011. *Griya Idola*. Diunduh pada 29 April 2012.

Kim, et al., (2009), “*Evaluating the Effect of Environmental Factors on Pathogen Regrowth in Compost Extract*”. *Journal of Environmental Microbiology*, 58, 498-508. Diakses 20 Oktober 2011, dari Springerlink.

Kunkel, Dennis, (2010). *Citrobacter freundii-Gram Negative, Anaerobic Prokaryote*. Diakses 11 Januari 2012 dari Dennis Kunkel Microscopy, Inc. <http://www.denniskunkel.com/DK/Bacteria/261268A.html>

- Ma, Zhang, Wong (2003), “*Microbial Activity During Composting of Anthracene-Contaminated Soil*”. *Journal of Chemosphere*, 1505-1513. Diakses 20 Oktober 2011, dari Elsevier.
- Martin, H., (2005). *Manure Composting As A Pathogen Reduction Strategy*. Ontario: Ministry of Agriculture and Food.
- Manning, (2005). “*Deadly Diseases and Epidemics Escherichia Coli Infection*”. Philadelphia: Chelsea House Publisher. Diakses 29 Oktober 2011 dari Library.nu http://ifile.it/6hlcm5/Escherichia_Coli_Infections_Deadly_Diseases_and_Epidemics_1_98x3j66ztx76x18.pdf
- Hampshire Department of Environmental Services (2003). *Fecal Coliform As An Indicator Organism*. Diakses melalui <http://des.nh.gov/organization/commissioner/pip/factsheets/wwt/documents/web-18.pdf>
- Novita, Evy., et al., (2009). *Modul Praktikum Mikrobiologi Lingkungan*. Depok: Program Studi Teknik Lingkungan.
- Oktiawan W., Priyambada I.K., (2007). *Optimalisasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Dengan Pengomposan Lumpur Tinja (Studi Kasus IPLT Semarang)*. *Jurnal Presipitasi* Vol. 3 No. 2 September 2007, ISSN 1907-187X. Semarang: Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP.
- Pelita, Depok (2011). *Pasar Depok Hasilkan Sampah 275 Meter Kubik Per Hari*. Diunduh pada 31 Maret 2012 melalui <http://koranbogor.com/>
- Penyusunan Rencana Induk Persampahan (Paket 4) (2008). Diunduh 1 April 2012 melalui <http://bappeda.depok.go.id>

POKJA AMPL (Kelompok Kerja Air Minum dan Kesehatan Lingkungan) (2011). *Menyedihkan, Sebagian Besar IPLT Nanggung*. Diakses 26 November 2011

http://sanitasi.or.id/index.php?option=com_content&view=article&id=835:menyedihkan-sebagian-besar-iplt-nganggung&catid=55:berita&Itemid=125

Pramudiarja, Uyung, (2011). *Tinja Manusia Paling Banyak Mencemari Air Tanah*. Diakses 20 Oktober 2011 melalui Detik Health.

<http://www.detikhealth.com/read/2011/03/21/152259/1597526/763/tinja-manusia-paling-banyak-mencemari-air-tanah>

Purwanto, Bambang, (2011). *Ringkasan Sejarah Sanitasi Indonesia 1607-2011*.

Purwanti, I.F, Yoedihanto, G., Musdaqi A. (2003). *Kinerja Digester Aerobik dan Pengeringan Lumpur Dalam Mengolah Lumpur Tinja*. Jurnal Purifikasi, Vol. 4, No. 1, Januari 2003: 25-30. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.

Retnowati, Dwi,(2010). *Mengenal Variabel Penelitian*. Diakses 8 Januari 2012, dari Kompas. <http://edukasi.kompasiana.com/2010/11/07/mengenal-variabel-penelitian/>

Schloss, et. al., (2000), "The Use of The Analysis of Variance to Assess the Influence of Mixing During Composting". *Journal of Process Biochemistry*, 675-684. Diakses 20 Oktober 2011, dari Elsevier.

Setyorini, et. al. (2008). *Kompos*. Diakses 4 Januari 2012, dari Deptan. <http://balittanah.litbang.deptan.go.id/dokumentasi/buku/pupuk/pupuk2.pdf>

Sugiyono. (2009). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta: Bandung.

- Tchobanoglous, George & Frank Keith, (2002), *Handbook of Solid Waste Management Second Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Thiesen & Vigil, S. A., (1993). *Integrated Solid Waste Managemet: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, Inc. Singapore.
- Tiqua, et al. (1998). *Salmonella Elimination During Composting of Spent Pig Litter.*, 193-196. Diakses pada 6 Mei 2012 melalui <http://www.sciencedirect.com>
- U.S. Environmental Protection Agency (1994). "*Guide to Septage Treatment and Disposal*". Washington DC: Office of Science, Planning, and Regulatory Evaluation.
- Umeh (2011). "*Klebsiella Infection*". Diakses 6 Januari 2012, dari Medscape Reference <http://emedicine.medscape.com/article/219907-overview>
- Valeria, Noni (2011). *Peningkatan Kualitas Kompos di UPS Permata Regency Dengan Variasi Penambahan Kotoran Ayam*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia: Depok.
- Yue, et. al., (2008). *Pile Settlement and Volume Reduction Measurement Forced-Aeration Static Composting*. *Journal of Bioresource Technology*, 99, 7450-7457. Diakses pada 30 Maret 2012 melalui <http://www.sciencedirect.com>



Lampiran 1
Pengukuran Suhu Kompos dan Langkah Kerja *Metode Multiple-Tube*
***Fermentation* (MTF) dan Pewarnaan Gram**

PENGUKURAN SUHU

Alat:

- Termometer digital
- Termometer analog

Cara kerja:

- Termometer disiapkan
- Termometer dimasukkan sampai ke bagian tengah komposter
- Untuk termometer suhu yang ditampilkan di layar termometer ditunggu sampai stabil, lalu dicatat

LANGKAH KERJA METODE *MOST PROBABLE NUMBER* (MPN)

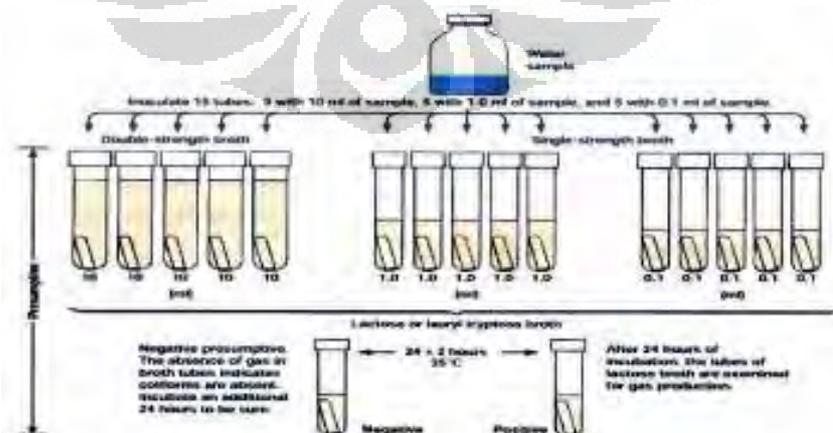
Alat dan bahan:

- Uji Penduga (*Presumptive Test*):
 - Sampel yang akan diperiksa
 - 5 tabung reaksi yang berisi tabung durham dan medium Lactose Broth ganda sebanyak 10 ml
 - 10 tabung yang berisi tabung durham dan 5 ml Lactose Broth tunggal
 - 1 pipet 10 mL steril
 - 1 pipet 1 mL steril
 - Pembakar spirtus
 - Inkubator dengan temperature 35⁰
- Uji Penguat (*Confirm Test*):
 - Semua tabung reaksi dari uji penduga (*Presumptive Test*) yang menunjukkan hasil positif
 - Tabung yang diisi dengan medium *Bile GreenLactose Broth* (BGLB) dan tabung durham di dalamnya sebanyak jumlah tabung uji penduga yang positif yang disiapkan sebanyak 2 set
 - 2 inkubator, temperatur 35⁰C dan 44,5⁰C
 - Jarum ose
- Uji Pelengkap (*Complete Test*):

- Cawan petri berisi endo agar yang menunjukkan adanya koloni berwarna hijau metalik
- Beberapa medium *Lactose Broth*
- Beberapa tabung Nutrient Agar (NA) miring
- Gelas objek
- Jarum ose
- Pembakar spirtus

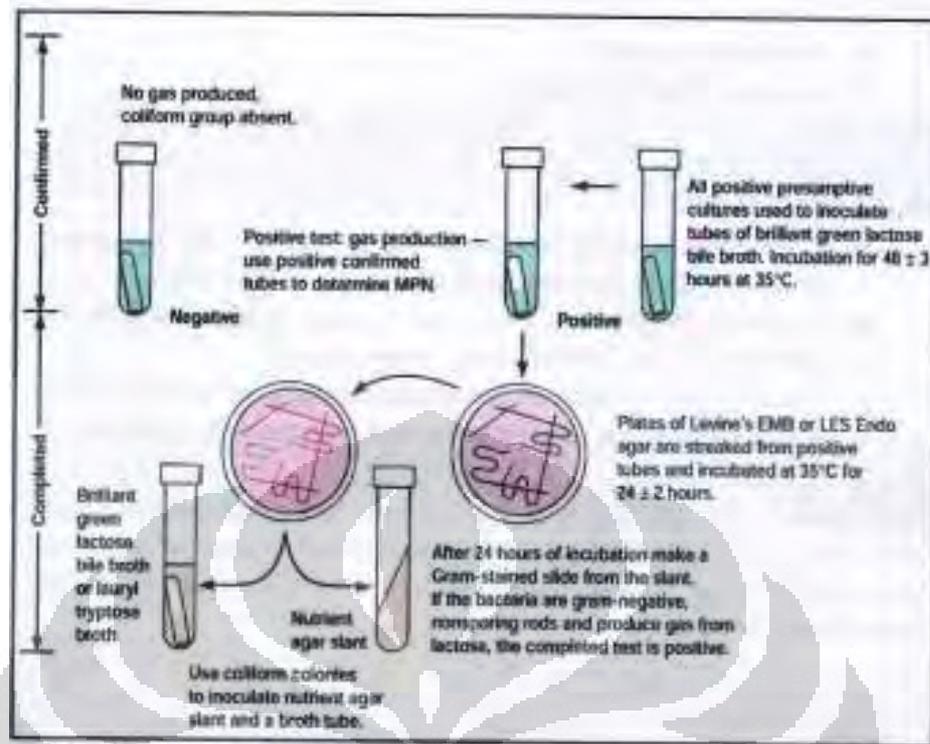
Cara kerja:

- Uji Penduga (*Presumptive Test*):
 - 5 mL sampel diinokulasikan ke dalam 5 tabung medium *Lactose Broth* ganda (seri I)
 - 0,5 mL sampel diinokulasikan ke dalam 5 tabung medium *Lactose Broth* tunggal (seri II)
 - 0,05 mL sampel diinokulasikan ke dalam 5 tabung medium *Lactose Broth* ganda (seri III)
 - Semua tabung diinkubasi pada temperatur 35⁰C
 - Setelah 24 jam, apabila terbentuk asam dan gas, maka reaksi yang ditunjukkan dengan adanya bakteri jenis coliform di dalam sampel. Namun, bila belum terbentuk atau terlihat gas di dalam tabung durham, inkubasi lagi selama 24 jam
 - Hasil pengamatan dicatat dalam tabel pengamatan



Gambar A.1 Prosedur Kerja *Presumptive Test*
 Sumber: McGraw Hill Co., (2009) dalam Novita, et. al., (2009)

- Uji Penguat (*Confirmed Test*):
 - Tahap 1:
 - 1 ose biakan dari setiap tabung uji penduga (*Presumptive Test*) yang positif diinokulasikan masing-masing ke dalam 2 tabung medium BGLB
 - Satu seri BGLB yang telah diinokulasikan, diinkubasi pada suhu 35°C dan satu seri lain pada suhu 44,5°C
 - Asam dan gas yang terbentuk setelah 24-48 jam diamati. Bila belum menunjukkan adanya gas di tabung Durham, waktu inkubasi boleh diperpanjang
 - Hasil pengamatan dicatat pada tabel pengamatan
 - Tahap 2:
 - Endo agar dicairkan dan dituang ke dalam cawan petri steril dan dibiarkan sampai mengeras
 - Satu ose biakan dari tabung BGLB yang menunjukkan reaksi positif diambil dan diinokulasi ke dalam medium endo agar dengan cara digesekkan di atas permukaan (*streak method*)
 - Diinkubasi selama 24-48 jam lalu diamati apakah ada koloni yang berwarna hijau metalik yang merupakan karakteristik bakteri *E. Coli* pada medium endo agar
- Uji Pelengkap (*Completed Test*):
 - Koloni-koloni yang berwarna hijau metalik diinokulasikan dalam medium *Lactose Broth*
 - Asam dan gas diamati dalam tabung *Lactose Broth* yang diinkubasikan dengan koloni yang berwarna hijau metalik



Gambar A.2 Prosedur Kerja *Confirmed Test* & *Completed Test*
 Sumber: McGraw Hill Co., (2009) dalam Novita, et. al., (2009)

Tabel A.1 Most Probable Number (MPN)

Combination of Positive Tubes	MPN 100 mL	95% Confidence Limit		Combination of Positive Tubes	MPN 100 mL	95% Confidence Limits	
		Lower	Upper			Lower	Upper
0-0-0	<2	1.0	10	4-2-0	22	9.0	56
0-0-1	2	1.0	10	4-2-1	26	12	65
0-1-0	2	1.0	14	4-3-0	27	12	67
0-2-0	4			4-3-1	33	15	77
				4-4-0	34	16	80
1-0-0	2	1.0	11	5-0-0	23	9.0	86
1-0-1	4	1.0	15	5-0-1	30	10	110
1-1-0	4	1.0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-1	6	2.0	18	5-1-0	30	10	120
1-2-0	6	2.0	18	5-1-1	50	20	150
				5-1-2	60	30	180
2-0-0	4	1.0	17	5-2-0	50	20	170
2-0-1	4	2.0	20	5-2-1	70	30	210
2-1-0	7	2.0	21	5-2-2	90	40	250
2-1-1	9	3.0	24	5-3-0	80	30	250
2-2-0	9	3.0	25	5-3-1	110	40	300
2-3-0	12	5.0	29	5-3-2	140	60	350
3-0-0	6	3.0	24	5-3-3	170	80	410
3-0-1	11	4.0	29	5-4-0	130	50	350
3-1-0	11	4.0	29	5-4-1	170	70	480
3-1-1	14	6.0	35	5-4-2	220	100	580
3-2-0	14	6.0	35	5-4-3	280	120	690
3-2-1	17	7.0	40	5-4-4	350	160	820
4-0-0	13	5.0	38	5-5-0	240	100	940
4-0-1	17	7.0	45	5-5-1	300	100	1300
4-1-0	17	7.0	48	5-5-2	500	200	2000
4-1-1	21	9.0	55	5-5-3	900	300	2900
4-1-2	26	12	63	5-5-4	1600	600	6300
				5-5-5	1600		

Sumber: Novita, et. al., 2009

Tabel A.2 SNI 19-7030-2004 Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1	Kadar Air	%	-	50
2	Temperatur	°C		suhu air tanah
3	Warna			kehitaman
4	Bau			berbau tanah
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25
6	Kemampuan ikat air	%	58	-
7	pH		6,80	7,49
8	Bahan asing	%	*	1,5
Unsur makro				
9	Bahan organik	%	27	58
10	Nitrogen	%	0,40	-
11	Karbon	%	9,80	32
12	Phosfor (P ₂ O ₅)	%	0,10	-
13	C/N-rasio		10	20
14	Kalium (K ₂ O)	%	0,20	*
Unsur mikro				
15	Arsen	mg/kg	*	13
16	Kadmium (Cd)	mg/kg	*	3
17	Kobal (Co)	mg/kg	*	34
18	Kromium (Cr)	mg/kg	*	210
19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
20	Merkuri (Hg)	mg/kg	*	0,8
21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
Unsur lain				
25	Kalsium	%	*	25,50
26	Magnesium (Mg)	%	*	0,60
27	Besi (Fe)	%	*	2,00
28	Aluminium (Al)	%	*	2,20
29	Mangan (Mn)	%	*	0,10
Bakteri				
30	Fecal Coli	MPN/gr		1000
31	Salmonella sp.	MPN/4 gr		3
Keterangan : * Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum				

Sumber: BSN, 2004

LANGKAH KERJA PEWARNAAN GRAM

Alat dan Bahan

Bahan dan alat yang digunakan pada proses pengecatan struktur sel bakteri gram positif dan negatif adalah sebagai berikut:

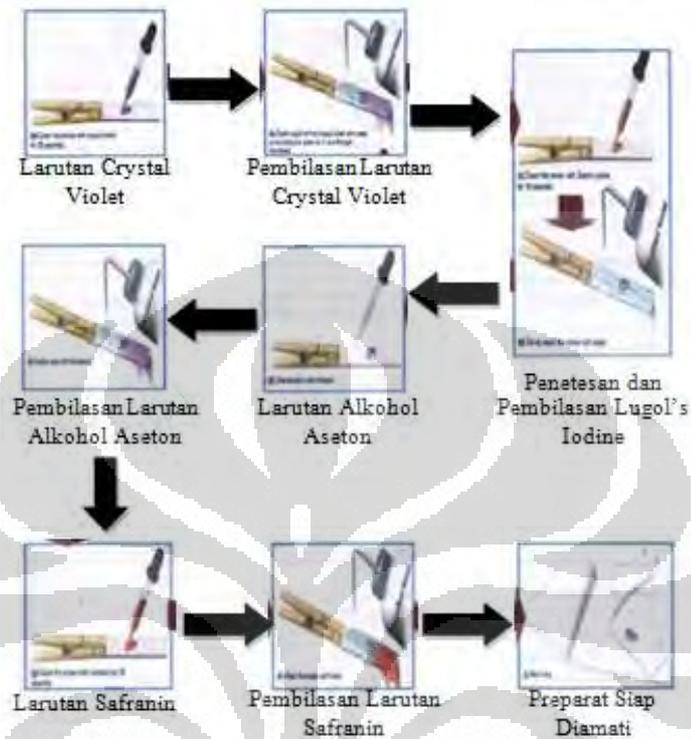
- Biakan murni dalam medium NA yang telah berumur 24 jam
- Larutan *Crystal violet* (zat pewarna utama/primer)
- Larutan Safranin (zat warna tandingan/counter stain)
- Larutan Alkohol Aseton (Decolorizer)
- Larutan Lugol's Iodine (zat warna penguat/mordant)
- Gelas objek (preparat)
- Kertas isap/tissue
- Jarum Ose
- Alkohol 70%
- Pembakar Spirtus

Cara Kerja

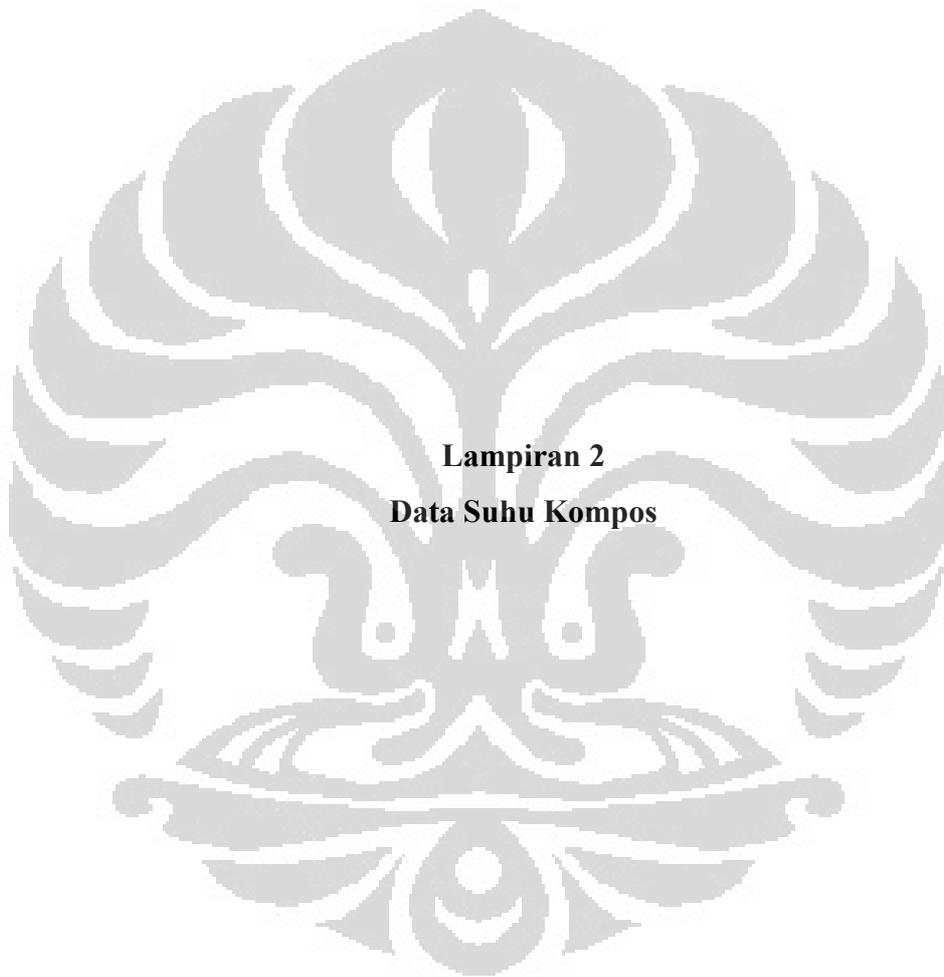
Langkah kerja di dalam melakukan pewarnaan gram adalah sebagai berikut:

- a. Preparat yang telah diberikan olesan bakteri disiapkan, dikeringkan, dan difiksasi di atas nyala api selama beberapa waktu
- b. Larutan *Crystal violet* (pewarna utama) diteteskan sebanyak 2 tetes pada olesan bakteri dan dibiarkan selama 1 menit
- c. Larutan lugol's iodine ditambahkan di atas preparat tersebut dan dibiarkan selama 1 menit
- d. Preparat dicuci dengan akuades dan dikeringkan
- e. Preparat ditetesi kembali dengan larutan alkohol aseton dan didiamkan selama 30 detik
- f. Preparat kembali dicuci dengan air dan dikeringkan
- g. Selanjutnya, preparat ditetesi kembali dengan larutan safranin dan didiamkan selama 30 detik
- h. Preparat dicuci kembali dengan air dan dikeringkan dengan tissue

- i. Setelah kering, preparat diperiksa di bawah mikroskop dengan pembesaran 40x atau 100x, jangan lupa minyak imersi digunakan



Gambar A.3 Langkah Kerja Pengecatan Gram
 Sumber: Johnson & Case (2009) dalam Novita, et. al., (2009)



Lampiran 2
Data Suhu Kompos

Tabel B.1 Data Suhu Kompos Frekuensi Pengadukan 2 Hari

Hari ke-	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)		
	Atas	Tengah	Bawah
0	35,8	35,8	35,8
1	52,5	44,5	32,5
2	49,0	50,6	39,7
3	58,4	58,7	38,4
4	59,8	59,0	45,7
5	63,5	65,2	49,8
6	54,1	62,8	50,8
7	56,4	55,7	48,0
8	50,4	58,9	39,2
9	52,7	57,8	48,4
10	60,9	62,0	44,7
11	54,5	63,0	49,1
12	58,5	63,3	41,7
13	57,8	59,2	49,4
14	56,4	63,7	51,2
16	38,8	51,1	48,7
17	45,3	47,0	46,2
18	41,0	47,0	46,0
19	48,0	49,0	47,0
20	39,0	39,5	40,0
21	48,5	49,0	48,0
22	33,4	35,0	33,5
23	28,0	32,0	30,0
24	35,0	40,0	38,0
25	36,5	40,0	39,0
26	36,0	44,0	43,0
27	32,0	38,0	38,0
28	49,0	51,5	51,0
29	46,0	48,0	47,5
30	42,0	45,0	46,0
32	40,0	40,0	39,5
34	32,0	37,5	38,5
37	40,0	38,0	39,0
39	36,0	37,0	38,0
44	35,0	42,0	36,0
46	31,0	34,0	36,0
51	27,0	27,0	27,0

Sumber: Hasil Olahan, 2012

Tabel B.2 Data Suhu Kompos Frekuensi Pengadukan 4 Hari

Hari ke-	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)		
	Atas	Tengah	Bawah
0	38,2	38,2	38,2
1	43,6	46,3	36,6
2	43,0	55,9	48,3
3	59,5	58,5	55,3
4	52,4	55,6	54,9
5	65,9	66,4	57,5
6	56,6	61,4	56,9
7	58,5	65,3	52,7
8	55,6	63,3	48,7
9	62,8	63,0	48,8
10	66,2	65,5	54,9
11	58,9	57,0	43,3
12	61,0	63,0	41,2
13	42,3	56,1	55,8
14	55,5	66,1	58,4
16	45,3	52,2	51,0
17	45,7	45,8	45,5
18	41,0	49,0	49,0
19	48,0	48,0	48,5
20	40,0	41,0	42,0
21	49,5	52,5	53,5
22	41,0	43,0	44,0
23	29,0	33,0	30,0
24	39,0	40,0	38,0
25	36,5	40,0	38,0
26	47,0	49,0	45,0
27	34,0	38,0	37,0
28	52,0	55,0	55,5
29	47,5	48,5	49,5
30	49,0	49,5	50,0
32	45,0	47,5	48,5
34	44,0	48,0	48,5
37	42,0	48,0	47,0
39	36,0	37,0	42,0
44	40,0	46,0	45,0
46	32,0	34,0	35,0
51	26,5	26,5	26,5

Sumber: Hasil Olahan, 2012



Lampiran 3
Data Pengujian Mikrobiologis dan Pengukuran Volume Kompos

Berikut adalah data hasil pengujian *Fecal coliform* di Laboratorium Mikrobiologi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia.

Tabel C.1 Hasil Pengujian *Fecal coliform* Frekuensi Pengadukan 2 Hari

Hari ke-	Uji Penduga			Uji Penguat			MPN/gr
	5 ml	0,5 ml	0,05 ml	5 ml	0,5 ml	0,05 ml	
0	5	5	5	5	5	5	1600
15	5	0	0	5	0	0	23
30	5	5	5	5	1	0	30
40	5	5	1	5	5	1	300
45	5	5	3	4	4	3	34

Sumber: Hasil Olahan, 2012

Tabel C.2 Hasil Pengujian *Fecal coliform* Frekuensi Pengadukan 4 Hari

Hari ke-	Uji Penduga			Uji Penguat			MPN/gr
	5 ml	0,5 ml	0,05 ml	5 ml	0,5 ml	0,05 ml	
0	5	5	5	5	5	5	1600
15	5	0	0	5	0	0	23
30	5	5	5	5	2	0	50
40	5	5	1	5	5	1	300
45	5	5	2	4	5	1	34

Sumber: Hasil Olahan, 2012

Berikut adalah data hasil pengujian *Salmonella* sp. di Laboratorium Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.

Tabel C.3 Pengujian *Salmonella* sp hari ke-0

HASIL PEMERIKSAAN LABORATORIUM				
Pemilik : Winny Laura		Jenis sampel : Pupuk Organik		
Tgl diterima : 3 Februari 2012		Jumlah sampel : 2 (dua)		
No : 09 HL F10/DPD.02000/12				
Legalitas : SNI 19-7030-2004 tentang: Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik				
Jenis pemeriksaan : MPN				
No.	Sampel	Perkiraan Jumlah Terdekat (MPN/4 gr)	Jumlah yang ditentukan (MPN/4 gr)	Persyaratan
		<i>Salmonella</i> sp.	<i>Salmonella</i> sp.	
1.	Kompos 1	≤ 2	3	Memenuhi Syarat
2.	Kompos 2	2	3	Memenuhi Syarat

Sumber: FKM UI, 2012

Tabel C.4 Pengujian *Salmonella* sp hari ke-15

HASIL PEMERIKSAAN LABORATORIUM			
Pemilik : Winny Laura		Jenis sampel : Kompos	
Tgl diterima : 9 februari 2012		Jumlah sampel : 2 (dua)	
No : 009 H2 F10/DPD.02000/12			
Legalitas : SNI 19-7030-2004 tentang: Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik			
Jenis pemeriksaan : MPN			
No.	Sampel	Perkiraan Jumlah Terdekat (MPN/4 gr) <i>Salmonella</i> sp.	Jumlah yang ditentukan (MPN/4 gr) <i>Salmonella</i> sp.
1.	LT SO(4)	2	3
	LT SO (2)	2	3

Sumber: FKM UI, 2012

Tabel C.5 Pengujian *Salmonella* sp hari ke-30

HASIL PEMERIKSAAN LABORATORIUM			
Pemilik : Winny Laura		Jenis sampel : Kompos	
Tgl diterima : 29 februari 2012		Jumlah sampel : 2 (dua)	
No : 010 H2 F10/DPD.02000/12			
Legalitas : SNI 19-7030-2004 tentang: Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik			
Jenis pemeriksaan : MPN			
No.	Sampel	Perkiraan Jumlah Terdekat (MPN/4 gr) <i>Salmonella</i> sp.	Jumlah yang ditentukan (MPN/4 gr) <i>Salmonella</i> sp.
1.	LT SO(4)	<	3
	LT SO (2)	2	3

Sumber: FKM UI, 2012

Berikut adalah data hasil pengukuran volume reduksi *feedstock* kompos.

Tabel C.6 Data Volume Kompos Pengadukan 2 Hari

Hari ke-	m ³	Δ	% Reduksi Kompos
0	1,2	0	0
15	0,8	0,4	30
30	0,6	0,2	50
45	0,45	0,15	62,5

Sumber: Hasil Olahan, 2012

Tabel C.7 Data Volume Kompos Pengadukan 4 Hari

Hari ke-	m ³	Δ	% Reduksi Kompos
0	1,2	0	0
15	0,6	0,6	50
30	0,54	0,06	55
45	0,46	0,08	61,7

Sumber: Hasil Olahan, 2012