



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENGOMPOSAN TERHADAP KUALITAS
UDARA MIKROBIOLOGIS
(STUDI KASUS: PENGOMPOSAN SKALA LABORATORIUM,
LAB. LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UI)**

SKRIPSI

IKA PUTRI D
0606078052

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JULI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENGOMPOSAN TERHADAP KUALITAS
UDARA MIKROBIOLOGIS
(STUDI KASUS: PENGOMPOSAN SKALA LABORATORIUM,
LAB. LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UI)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**IKA PUTRI D
0606078052**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : IKA PUTRI D

NPM : 0606078052

Tanda Tangan :

Tanggal : 9 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ika Putri D
NPM : 0606078052
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi :

Pengaruh Pengomposan Terhadap Kualitas Udara Mikrobiologis
(Studi Kasus: Pengomposan Skala Laboratorium, Lab. Lingkungan Fakultas
Teknik Ui)

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 I : Ir. Gabriel S. Boedi Andari M.Eng. ,Ph.D ()

Pembimbing II: Evy Novita, ST., M.Si. ()

Penguji : Ir. Irma Gusniani, M.Sc. ()

Penguji : Ir. Firdaus Ali, M.Sc., Ph.D. ()

Ditetapkan di : Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 9 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karuniaNya kepada penulis sehingga penulis dapat menyusun Skripsi ini sesuai dengan yang diharapkan. Laporan ini diajukan sebagai tugas mata kuliah Skripsi dan sebagai salah satu persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Terimakasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah turut membantu selama proses pengerjaan laporan ini, yaitu :

1. Ibu Dr. Ir. Gabriel S. Boedi Andari M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, masukan, dan bimbingan dalam penyusunan Skripsi ini.
2. Ibu Evy Novita, Msi selaku dosen pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, masukan, dan bimbingan dalam penyusunan Skripsi ini.
3. Para dosen pengajar Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia.
4. Saudari Licka Kamadewi dan Sri Diah H.S. selaku laboran Program Studi Teknik Lingkungan atas bantuannya selama penelitian ini dilakukan.
5. Keluarga yang telah memberi dukungan, baik moril maupun materiil sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Teman-teman yang memberikan dukungan dan masukan dalam penyelesaian Skripsi ini.
7. Pihak-pihak lain yang turut membantu terselesaikannya laporan ini

Depok, Januari 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ika Putri D
NPM : 0606078052
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
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 Pengomposan Terhadap Kualitas Udara Mikrobiologis
(Studi Kasus: Pengomposan Skala Laboratorium, Lab. Lingkungan Fakultas
Teknik Ui)

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 mempublikasikan Skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dari sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 9 Juli 2010

Yang menyatakan

(Ika Putri D)

ABSTRAK

Nama : Ika Putri D

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul : Pengaruh Pengomposan Terhadap Kualitas Udara Mikrobiologis
(Studi Kasus: Pengomposan Skala Laboratorium, Lab. Lingkungan
Fakultas Teknik UI)

Pengomposan di rumah tangga merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi jumlah sampah organik dari timbulan sampah yang makin bertambah di tempat pembuangan akhir. Proses pengomposan akan menghasilkan emisi berupa partikel pencemar udara yang mengandung mikroorganisme, berupa bakteri dan fungi. Hal ini akan menyebabkan terjadinya kenaikan konsentrasi pencemar bakteri dan fungi di udara. Kenaikan konsentrasi bakteri dan fungi di udara dapat mempengaruhi kesehatan baik terhadap masyarakat maupun pekerja yang melakukan pengomposan, akibat tingginya kemungkinan pemaparan.

Penelitian ini akan mengukur konsentrasi bakteri dan fungi pada kegiatan pengomposan skala laboratorium, terutama saat pengadukan berlangsung. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat perubahan konsentrasi mikrobiologis yang terjadi terhadap kontrol, umur kompos dan jarak pengambilan sampel. Konsentrasi mikrobiologis tertinggi adalah bakteri 5.954 CFU/m^3 di umur 43 hari dan fungi 4.382 CFU/m^3 di umur 8 hari, pada jarak pengambilan sampel 0 meter. Pada jarak 4 meter, diperoleh konsentrasi jamur dan fungi terendah. Faktor lain yang berpengaruh terhadap konsentrasi mikrobiologis di udara adalah sistem ventilasi udara, kelembaban dan material bangunan. Pemeriksaan kualitas udara mikrobiologis di luar ruangan tidak menunjukkan sumber pencemar mikrobiologis.

Kata Kunci : Pengomposan, Kualitas udara mikrobiologis, bakteri, fungi, umur kompos, jarak sampling.

ABSTRACT

Name : Ika Putri D
Study Program: Environmental Engineering
Judul : Effect of Composting On Microbiological Air Quality (Case Study: Laboratory Scale Composting At Environmental Lab. Faculty of Engineering, UI)

Composting at home is one of the efforts taken to reduce the amount of organic waste from solid waste generation in final disposal. The composting process will result in air pollutant emissions in the form of airborne that contain microorganisms, such as of bacteria and fungi. This will cause an increase in microbial concentration in the air. The increase in the concentration of microorganisms in the air can affect the health of both the public and workers who do composting, due to the high possibility of exposure.

This study will analyze bacteria and fungi concentration in composting process, laboratory scales, when turning happens. The purpose is to see the changes that occurred against the concentration of microbiological control, compost age and distance sampling. The highest concentration for bacteria is 5,954 CFU/m³ at the age of 43 days and fungi 4,382 CFU/m³ at the age of 8 days, at a 0-meter distance. Sampling distance showed the lowest concentration is 4 meters. Microbiological concentrations in the air are also affected by ventilation system, moisture and building material. Microbiological quality of outdoor air did not show a source of microbiological contaminants.

Keyword : Composting, microbiological air quality, bacteria, fungi, compost age, sampling distance.

DAFTAR ISI

COVER	i
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN	1
1.2 RUMUSAN PERMASALAHAN	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 HIPOTESIS	3
1.5 MANFAAT PENELITIAN	4
1.6 BATASAN PENELITIAN	4
BAB 2. DASAR TEORI	5
2.1 KERANGKA TEORI	5
2.1.1 Pengertian Kompos	5
2.1.2 Pengomposan	6
2.1.2.1 Klasifikasi Metabolisme	6
2.1.2.2 Fase Pengomposan	7
2.1.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Pengomposan	8
a. Keseimbangan Nutrien (Rasio C/N)	9
b. Derajat Keasaman (pH)	9
c. Suhu (temperatur)	10
d. Ukuran Partikel Sampah	10
e. Kelembaban Kompos	11
f. Kelembaban Udara	12
g. Homogenitas Campuran Sampah	12
2.1.2.4 Mikroorganisme	12
a. <i>Aspergillus fumigates</i>	13
b. Bakteri	13
c. Total Fungi	14
d. <i>Actynomicetes</i>	14
2.1.3 Pencemar Mikrobiologis Udara	15
2.1.3.1 Definisi	15
2.1.3.2 Standar Lingkungan	16
2.1.3.3 Faktor Yang Mempengaruhi	17
2.1.3.4 Efek Pada Kesehatan	18
2.2 KERANGKA KONSEP	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	20

3.1 PENDEKATAN PENELITIAN	20
3.2 VARIABEL PENELITIAN	20
3.3 SAMPEL DAN POPULASI PENELITIAN.....	21
3.4 DATA DAN ANALISA DATA.....	24
3.5 LOKASI PENELITIAN.....	25
3.6 WAKTU PENELITIAN.....	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 HASIL PENGUKURAN.....	26
4.2 ANALISIS PERUBAHAN KONSENTRASI	
MIKROORGANISME	28
4.2.1 Analisis Konsentrasi Bakteri Berdasarkan Umur Kompos	28
4.2.2 Analisis Konsentrasi Fungi Berdasarkan Umur Kompos.....	32
4.2.3 Analisis Konsentrasi Bakteri Berdasarkan Jarak.....	35
4.2.4 Analisis Konsentrasi Fungi Berdasarkan Jarak	38
4.3 ANALISIS FAKTOR YANG MEMPENGARUHI	
KONSENTRASI BAKTERI DAN FUNGI	40
4.3.1 Konsentrasi Bakteri Dan Fungi Outdoor	41
4.3.2 Kondisi Fisik Bangunan (umur bangunan dan material	
bangunan, kebocoran, dll)	42
4.3.3 Faktor Kelembaban	42
4.3.4 Ventilasi.....	46
4.4 PERBANDINGAN KONSENTRASI BAKTERI DAN FUNGI	
DENGAN STANDAR	49
4.5 KAITAN HASIL PENELITIAN TERHADAP UU NO 18	
TAHUN 2008.....	50
4.6 REKOMENDASI UNTUK MENURUNKAN RESIKO	
PAPARAN PENCEMAR UDARA MIKROBIOLOGIS.....	51
BAB 5. PENUTUP	53
DAFTAR PUSTAKA	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panas dari Fase Pengomposan	8
Gambar 2.2 Kerangka Konsep	19
Gambar 3.1 Tabel Hubungan Antara Variabel	21
Gambar 3.2 EMS E6 Bioaerosol Sampler	22
Gambar 3.3 Profil Keranjang Kompos	23
Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Bakteri Terhadap Umur Kompos	29
Gambar 4.2 Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Umur Kompos	31
Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Fungi Terhadap Umur Kompos	33
Gambar 4.4 Grafik Jumlah Bakteri Terhadap Jarak Pengambilan Sampel.....	36
Gambar 4.5 Grafik Jumlah Fungi Terhadap Jarak Pengambilan Sampel	39
Gambar 4.6 Lokasi Pengambilan Sampel Outdoor.....	41
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Konsentrasi Bakteri	43
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Konsentrasi Fungi.....	43
Gambar 4.9 Lokasi Wastafel Pada Ruangan.....	44
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Suhu Lingkungan.....	45
Gambar 4.11 Posisi Pepohonan Lokasi Outdoor	46
Gambar 4.11 Ventilasi dan Letak Kipas Angin di Ruangan.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konsentrasi Mikroorganisme dalam Kompos	12
Tabel 2.2 Konsentrasi Pencemar Udara Fungi Berdasarkan Industri/kegiatan	15
Tabel 2.3 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri Berdasarkan Industri/kegiatan .	15
Tabel 2.4 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri Berdasarkan Lokasi	16
Tabel 2.5 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri dan Fungi di Udara Luar Ruangan	17
Tabel 3.1 Jenis Mikroorganisme dan Waktu Inkubasi.....	21
Tabel 3.2 Jenis dan Asal Sampel	23
Tabel 3.3 Jenis Data dan metode Pengumpulan	25
Tabel 3.4 Jadwal Pengambilan Data Penelitian	25
Tabel 4.1 Konsentrasi Bakteri.....	27
Tabel 4.2 Konsentrasi Fungi	27
Tabel 4.3 Nilai Maksimum dan Minimum Konsentrasi Bakteri.....	31
Tabel 4.4 Nilai Maksimum dan Minimum Konsentrasi Fungi	34
Tabel 4.5 Nilai Maksimum dan Minimum Jumlah Bakteri	37
Tabel 4.6 Nilai Maksimum dan Minimum Jumlah Fungi	40
Tabel 4.7 Konsentrasi Fungi Dan Bakteri Outdoor	41
Tabel 4.8 Kondisi Ventilasi di Ruang Lab	47
Tabel 4.9 Konsentrasi Bakteri dan Fungi Berdasarkan Kegiatan	49
Tabel 4.10 Perbandingan Konsentrasi Mikroorganisme dengan Standar	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat Penelitian

Lampiran 2. Data Penelitian

Lampiran 3. Data Suhu dan Kelembaban

Lampiran 4. Gambar-Gambar Hasil Penelitian



DAFTAR ISI

COVER	i
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN	1
1.2 RUMUSAN PERMASALAHAN	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 HIPOTESIS	3
1.5 MANFAAT PENELITIAN	4
1.6 BATASAN PENELITIAN	4
BAB 2. DASAR TEORI	5
2.1 KERANGKA TEORI	5
2.1.1 Pengertian Kompos	5
2.1.2 Pengomposan	6
2.1.2.1 Klasifikasi Metabolisme	6
2.1.2.2 Fase Pengomposan	7
2.1.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Pengomposan	8
a. Keseimbangan Nutrien (Rasio C/N)	9
b. Derajat Keasaman (pH)	9
c. Suhu (temperatur)	10
d. Ukuran Partikel Sampah	10
e. Kelembaban Kompos	11
f. Kelembaban Udara	12
g. Homogenitas Campuran Sampah	12
2.1.2.4 Mikroorganisme	12
a. <i>Aspergillus fumigates</i>	13
b. Bakteri	13
c. Total Fungi	14
d. <i>Actynomicetes</i>	14
2.1.3 Pencemar Mikrobiologis Udara	15
2.1.3.1 Definisi	15
2.1.3.2 Standar Lingkungan	16
2.1.3.3 Faktor Yang Mempengaruhi	17
2.1.3.4 Efek Pada Kesehatan	18
2.2 KERANGKA KONSEP	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	20

3.1 PENDEKATAN PENELITIAN	20
3.2 VARIABEL PENELITIAN	20
3.3 SAMPEL DAN POPULASI PENELITIAN.....	21
3.4 DATA DAN ANALISA DATA.....	24
3.5 LOKASI PENELITIAN.....	25
3.6 WAKTU PENELITIAN.....	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 HASIL PENGUKURAN.....	26
4.2 ANALISIS PERUBAHAN KONSENTRASI	
MIKROORGANISME	28
4.2.1 Analisis Konsentrasi Bakteri Berdasarkan Umur Kompos	28
4.2.2 Analisis Konsentrasi Fungi Berdasarkan Umur Kompos.....	32
4.2.3 Analisis Konsentrasi Bakteri Berdasarkan Jarak.....	35
4.2.4 Analisis Konsentrasi Fungi Berdasarkan Jarak	38
4.3 ANALISIS FAKTOR YANG MEMPENGARUHI	
KONSENTRASI BAKTERI DAN FUNGI	40
4.3.1 Konsentrasi Bakteri Dan Fungi Outdoor	41
4.3.2 Kondisi Fisik Bangunan (umur bangunan dan material	
bangunan, kebocoran, dll)	42
4.3.3 Faktor Kelembaban	42
4.3.4 Ventilasi.....	46
4.4 PERBANDINGAN KONSENTRASI BAKTERI DAN FUNGI	
DENGAN STANDAR	49
4.5 KAITAN HASIL PENELITIAN TERHADAP UU NO 18	
TAHUN 2008.....	50
4.6 REKOMENDASI UNTUK MENURUNKAN RESIKO	
PAPARAN PENCEMAR UDARA MIKROBIOLOGIS.....	51
BAB 5. PENUTUP	53
DAFTAR PUSTAKA	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panas dari Fase Pengomposan	8
Gambar 2.2 Kerangka Konsep	19
Gambar 3.1 Tabel Hubungan Antara Variabel	21
Gambar 3.2 EMS E6 Bioaerosol Sampler	22
Gambar 3.3 Profil Keranjang Kompos	23
Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Bakteri Terhadap Umur Kompos	29
Gambar 4.2 Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Umur Kompos	31
Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Fungi Terhadap Umur Kompos	33
Gambar 4.4 Grafik Jumlah Bakteri Terhadap Jarak Pengambilan Sampel.....	36
Gambar 4.5 Grafik Jumlah Fungi Terhadap Jarak Pengambilan Sampel	39
Gambar 4.6 Lokasi Pengambilan Sampel Outdoor	41
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Konsentrasi Bakteri	43
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Konsentrasi Fungi	43
Gambar 4.9 Lokasi Wastafel Pada Ruangan.....	44
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Suhu Lingkungan.....	45
Gambar 4.11 Posisi Pepohonan Lokasi Outdoor	46
Gambar 4.11 Ventilasi dan Letak Kipas Angin di Ruangan.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konsentrasi Mikroorganisme dalam Kompos	12
Tabel 2.2 Konsentrasi Pencemar Udara Fungi Berdasarkan Industri/kegiatan.....	15
Tabel 2.3 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri Berdasarkan Industri/kegiatan .	15
Tabel 2.4 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri Berdasarkan Lokasi	16
Tabel 2.5 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri dan Fungi di Udara Luar Ruangan	17
Tabel 3.1 Jenis Mikroorganisme dan Waktu Inkubasi.....	21
Tabel 3.2 Jenis dan Asal Sampel	23
Tabel 3.3 Jenis Data dan metode Pengumpulan	25
Tabel 3.4 Jadwal Pengambilan Data Penelitian	25
Tabel 4.1 Konsentrasi Bakteri.....	27
Tabel 4.2 Konsentrasi Fungi	27
Tabel 4.3 Nilai Maksimum dan Minimum Konsentrasi Bakteri.....	31
Tabel 4.4 Nilai Maksimum dan Minimum Konsentrasi Fungi	34
Tabel 4.5 Nilai Maksimum dan Minimum Jumlah Bakteri	37
Tabel 4.6 Nilai Maksimum dan Minimum Jumlah Fungi	40
Tabel 4.7 Konsentrasi Fungi Dan Bakteri Outdoor	41
Tabel 4.8 Kondisi Ventilasi di Ruang Lab	47
Tabel 4.9 Konsentrasi Bakteri dan Fungi Berdasarkan Kegiatan	49
Tabel 4.10 Perbandingan Konsentrasi Mikroorganisme dengan Standar	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat Penelitian

Lampiran 2. Data Penelitian

Lampiran 3. Data Suhu dan Kelembaban

Lampiran 4. Gambar-Gambar Hasil Penelitian



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Limbah merupakan suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia maupun proses-proses alam yang dapat memberikan efek negatif terhadap kualitas lingkungan sekitarnya maupun kesehatan manusia. Menurut bentuknya limbah terdiri dari fase fisik seperti padat, cair atau gas. Secara umum limbah padat didefinisikan sebagai bahan buangan yang berbentuk padat atau *solid* yang dibagi menjadi 2 (dua), yaitu limbah padat organik dan limbah padat anorganik.

Limbah padat menjadi salah satu permasalahan di lingkungan karena peningkatan jumlah timbulan limbah padat yang dihasilkan seiring dengan kenaikan jumlah penduduk yang terjadi. Komposisi limbah padat kota Depok berdasarkan hasil penelitian timbulan limbah padat domestik di kecamatan Sukmajaya tahun 2008 terdiri dari 65,11% limbah padat organik dan 34,89% anorganik dan memiliki jumlah timbulan limbah padat pemukiman yang dihasilkan oleh penduduknya per hari adalah 286,31 m³/hari (Gusniani, 2008).

Berbagai upaya dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah limbah padat organik yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA). Salah satunya melalui pembuatan kompos. Hal ini sesuai dengan UU No 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, yang menyebutkan bahwa pengelolaan sampah rumah tangga dapat dilakukan dengan pengurangan dan penanganan, salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam rumah tangga untuk mengurangi timbulan sampahnya adalah melalui pengomposan.

Menurut US EPA (*Solid Waste and Emergency Response*, 2002), proses pengomposan adalah proses dekomposisi secara biologis dari materi organik yang terkontrol, khususnya oleh mikroba-mikroba yang memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi. Proses ini meliputi pencampuran bahan yang seimbang atau sesuai komposisi dari limbah padat kering dan basah, pemberian air yang cukup, pengadukan kompos untuk menjaga suhu, dan penambahan aktivator pengomposan

Menurut Harrison (2007) dari proses pengomposan dihasilkan emisi berupa partikel pencemar udara mikrobiologis (*airborne*) yang mengandung mikroorganisme yang disebut *bioaerosol*, yaitu partikel dari *microbial*, *plant* atau *animal origin* dan bisa disebut sebagai debu organik termasuk di dalamnya bakteri, fungi, virus, allergen, bakteri endotoksin, antigen, dan sebagainya. Hasil penelitian Jones dan Cookson (1982) mengenai konsentrasi pencemar udara mikrobiologis di area sekitar lokasi pengomposan menunjukkan bahwa proses pengomposan dapat mengakibatkan timbulnya *aerosol* mikrobiologis dengan konsentrasi yaitu : mesofilik fungi 0–7.220 Colony Forming Unit (CFU) dengan rata-rata geometrik 273 CFU, termofilik fungi 0–193 CFU dengan rata-rata 2,1 CFU, *Aspergillus fumigatus*, 0–71 CFU, median 1,0 CFU, bakteri aerobik 4,20–1.640, rata-rata 79 dan *fecal streptococci* 0–5,7 CFU dengan median 0 CFU.

Dari penjelasan diatas, pengomposan ternyata memiliki dampak positif dan negatif. Kenaikan konsentrasi mikroorganisme di udara dapat berpengaruh pada kesehatan masyarakat, dengan naiknya tingkat kemungkinan terpaparnya jamur atau bakteri di udara pada masyarakat. Pekerja pada *composting site* maupun orang-orang yang membuat kompos dalam skala rumahan rentan terhadap paparan pencemar udara mikrobiologi yang dihasilkan dalam proses pengomposan.

Penentuan komponen pencemar mikrobiologis udara berupa endotoksin menunjukkan bahwa nilai paparan untuk endotoksin pada pekerja di area pengomposan meningkat (rata-rata 31,5 Endotoksin Unit (EU)/m³, min 2,00 EU/m³, maks 1.741,78 EU/m³), terutama ketika kompos diaduk (rata-rata 175,0 EU/m³, min 2,03 EU/m³, maks 1.741,78 EU/m³). Delapan dari 32 (25%) sampel data paparan endotoksin yang diperoleh melebihi standar jumlah 200 EU/m³, yang diadopsi dari batas legal di Belanda. Tiga belas dari 32 sampel yang diambil (40.6%) melebihi nilai yang disarankan, yaitu sebesar 50 EU/m³. Nilai tersebut disarankan untuk melindungi pekerja dari efek kesehatan pernapasan (Sykes, 2008).

Secara umum, pemaparan *bioaerosol* dapat dihubungkan dengan masalah kesehatan seperti alergi, iritasi *muscosal membrane*, dan penyakit kulit, yang dibuktikan oleh penelitian Bunker *et al.*, 2006. Hasil penelitian tersebut

menyatakan paparan debu organik kompos di tempat pengomposan mempengaruhi kesehatan, berupa efek pada pernafasan akut dan kronis. Penelitian tersebut dilakukan terhadap pekerja di area pengomposan dibandingkan dengan kontrol di 41 fasilitas pengomposan Jerman. Pekerja pengomposan dilaporkan memiliki prevalensi lebih tinggi secara signifikan terhadap iritasi *muscosal membrane*, dan permasalahan saluran pernafasan atas.

1.2 RUMUSAN PERMASALAHAN

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan di atas disertai dengan kurangnya data mengenai permasalahan ini di Indonesia, maka pada penelitian ini dirumuskan masalah sebagai berikut:

- Bagaimana pengaruh pengomposan terhadap kuantitas mikrobiologi di udara pada saat pengomposan dilakukan?
- Apa faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah polutan mikrobiologi di udara pada saat pengomposan?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh proses pengomposan terhadap kuantitas mikrobiologi di udara sekitarnya
2. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah polutan mikrobiologi di udara pada saat pengomposan
3. Memberi rekomendasi tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi mikroorganisme di udara

1.4 HIPOTESIS

1. Proses pengomposan akan meningkatkan konsentrasi mikroorganisme di udara, yang diakibatkan oleh pengadukan kompos.
2. Banyaknya jumlah mikroorganisme di udara akan sesuai dengan pola pertumbuhan mikroorganisme selama berlangsungnya proses pengomposan.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan diperoleh dalam penelitian ini antara lain:

Bagi Pemerintah:

- Suatu dokumentasi secara ilmiah mengenai resiko kesehatan dari kegiatan pengomposan

Bagi Peneliti:

- Memberikan wawasan yang lebih luas tentang penerapan ilmu-ilmu yang sudah diperoleh selama perkuliahan.
- Memberikan gambaran mengenai pertambahan kuantitas pencemar udara mikrobiologis yang dihasilkan oleh proses pengomposan.

Bagi masyarakat:

- Memberikan sebuah wawasan serta menumbuhkan kesadaran mengenai adanya resiko kesehatan pada kegiatan pengomposan dan memberikan cara penanganannya.

Bagi Ilmu Pengetahuan Secara Umum:

- Informasi yang dapat digunakan sebagai referensi maupun informasi data mengenai kenaikan kuantitas mikrobiologi di udara pada saat pengomposan berlangsung.
- Memberikan masukan tentang kondisi yang harus diperhatikan dalam kegiatan pengomposan di rumah tangga

1.6 BATASAN PENELITIAN

Lingkup dari penelitian ini mencakup jumlah dari mikroorganisme di udara saat kegiatan pengomposan. Kegiatan pengomposan berlangsung di dalam ruangan laboratorium sebagai gambaran pengomposan skala rumah tangga. Penelitian yang dilakukan akan berfokus pada jumlah mikroorganisme yang diperoleh dan peningkatan jumlahnya dalam pengomposan ketika dilakukan pengadukan yang berkaitan dengan umur kompos dan jarak pengambilan sampel.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KERANGKA TEORI

2.1.1 Pengertian Kompos

Secara umum kompos adalah hasil dekomposisi parsial/sebagian dari campuran bahan-bahan organik oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab dan aerobik. (Crawford, 2003)

Kompos adalah proses yang dikelola oleh manusia melibatkan budidaya mikroorganisme yang mendegradasi bahan organik dengan kehadiran oksigen. Ketika dikelola dengan baik, kompos menjadi sangat padat dengan mikroorganisme termofilik yang menimbulkan sedikit panas. Mikroorganisme kompos bisa begitu efisien dalam mengubah bahan organik menjadi humus.

Bahan organik yang dapat digunakan sebagai sumber pupuk kompos dapat berasal dari limbah/hasil pertanian dan non-pertanian (limbah kota dan limbah industri). Sampah organik perkotaan berupa sisa sayuran yang berasal dari pasar-pasar atau sampah rumah tangga dari daerah pemukiman dan sampah daun dari taman-taman kota (Kurnia *et al*, 2001). Limbah industri yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik antara lain limbah industri pangan. Berbagai bahan organik tersebut dapat dijadikan pupuk organik melalui teknologi pengomposan sederhana maupun dengan penambahan mikroba perombak serta pengkayaan hara lain (Setyorini *et al*, 2006).

2.1.2 Pengomposan

Pengomposan adalah proses dimana bahan organik mengalami penguraian secara biologis, khususnya oleh mikroba-mikroba yang memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi.

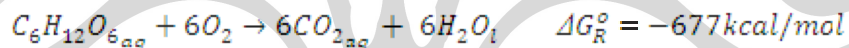
Bahan organik tidak dapat langsung digunakan oleh tanaman karena perbandingan dari kandungan rasio C/N dalam bahan organik tidak sesuai dengan kandungan C/N tanah. Rasio C/N merupakan ratio perbandingan antara senyawa organik karbohidrat (C) dan Nitrogen (N). Tanah memiliki rasio C/N sebesar 10-

12 sementara bahan organik memiliki rasio C/N yang cukup tinggi (jerami 50-70, dedaunan tanaman 50-60, kayu-kayuan >400) (Setyorini *et al*, 2006).

Prinsip dari pengomposan adalah untuk menurunkan rasio C/N bahan organik hingga sama dengan C/N tanah. Lamanya waktu pengomposan bahan organik bergantung pada tingginya nilai dari rasio C/N bahan organik tersebut, semakin tinggi C/N bahan organik, semakin lama waktu pengomposan yang berlangsung. Proses perombakan bahan organik terjadi secara biofisika-kimia dan dapat terjadi dalam kondisi aerob maupun anaerob.

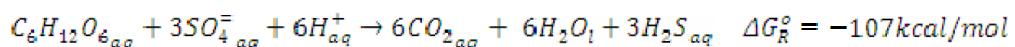
2.1.2.1 Klasifikasi Metabolisme

Berdasarkan Haug (1993), adanya perbedaan metabolisme antara organisme akan mempermudah untuk mengerti efek dari mikroorganisme pada lingkungan dan kondisi lingkungan yang tepat untuk pertumbuhan organisme. Pada dasarnya proses metabolisme dibedakan menjadi proses aerobik, anaerobik dan anoksik. Aerobik mengacu pada pernafasan dengan oksigen. Contoh reaksi oksidasi aerobik terhadap glukosa adalah sebagai berikut:



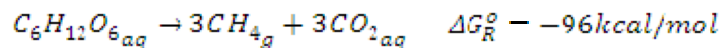
reaksi ini merupakan reaksi oksidasi-reduksi, karena elektron ditransfer dari glukosa dan diterima oleh oksigen. Oleh karena itu oksigen akan berkurang ketika karbon dioksidasi. Oksigen dalam reaksi ini disebut sebagai aseptor elektron. Semua organisme yang menggunakan oksigen sebagai aseptor elektron disebut aerob.

Diantara mikroba, senyawa lain juga dapat digunakan sebagai aseptor elektron. Senyawa tersebut antara lain oksidasi senyawa anorganik dari sulfur dan nitrogen seperti nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-) dan sulfat (SO_4^{2-}). Karbon dioksida juga dapat digunakan sebagai aseptor elektron dan biasanya tereduksi menjadi *methane*. Metabolisme dengan aseptor elektron ini biasa disebut anoksik. Oksidasi dari glukosa menggunakan sulfat sebagai aseptor elektron adalah:



pada reaksi ini energi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan energi yang dihasilkan oleh reaksi aerobik.

Reaksi anaerob terjadi ketika semua eletron aseptor telah terpakai. Reaksi yang terjadi pada glukosa yaitu



eletron dipindahkan dari CO₂ dan diterima oleh *methane*. Elektron ditransfer dan reaksi merupakan reaksi oksidasi-reduksi. tetapi aseptor dan donor elekton berasal dari molekul yang sama. Reaksi ini disebut fermentasi. Metabolisme anaerob dianggap lebih kompleks dari reaksi fermentasi diatas. Reaksi yang terjadi akan menghasilkan hasil sampingan seperti alkohol dan *aldehydes*.

2.1.2.2 Fase Pengomposan

Pada pengomposan, bahan organik akan mengalami proses degradasi sampai akhirnya menjadi kompos, yang dibagi menjadi empat fase, yaitu fase mesofilik, fase termofilik, fase pendinginan dan fase pematangan. (Haug, 1993)

Ketika panas yang dihasilkan oleh mikroorganisme tertahan di dalam kompos sehingga tidak keluar ke lingkungan, temperatur dari habitat akan meningkat. Fase temperatur ini merefleksikan aktivitas dari populasi mikroorganisme melakukan degradasi dari material organik. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.1, fase pengomposan dibagi berdasarkan laju temperatur terhadap waktu dalam proses pengomposan. Fase tersebut antara lain:

1. Fase mesofilik

Dalam fase pertama ini populasi dari bakteri dan fungi mesofilik mendegradasi nutrisi yang ada. Aktivitas bakteri dan fungi ini menghasilkan peningkatan temperatur hingga 45⁰C. Ketika mencapai temperatur ini, aktivitas dari mikroorganisme akan berkurang, sel vegetatif dan *hyphae* mati sehingga hanya *lyse* dan spora yang tahan panas yang bertahan.

2. Fase termofilik

Setelah fase mesofilik muncul kenaikan temperatur. Fase ini ditandai dengan kehadiran mikroorganisme termofilik yang memiliki temperatur optimum antara 50-65⁰C, dan mati di temperatur 70-80⁰C.

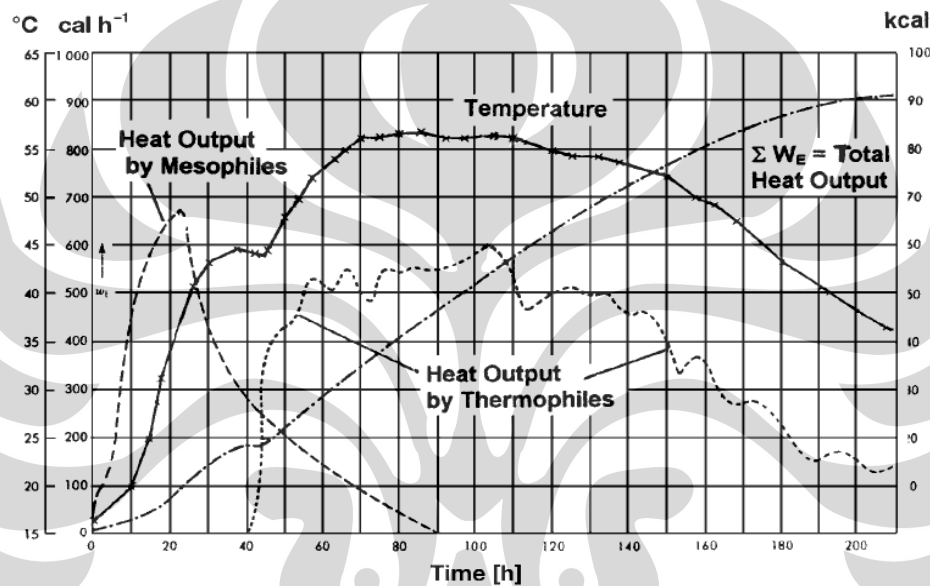
3. Fase pendinginan

Tahap ketiga dapat dianggap sebagai periode stasioner tanpa signifikan perubahan suhu karena panas yang diproduksi mikroba dan pembuangan panas

saling menyeimbangkan. Mikroorganisme yang ada terdiri dari termofilik bakteri, *Actinomycetes*, dan fungi.

4. Fase Pematangan

Tahap keempat adalah ditandai dengan penurunan suhu bertahap, yang terbaik adalah digambarkan sebagai fase pematangan proses pengomposan. Mikroorganisme mesofilik setelah berhasil selamat dari tinggi suhu fase termofilik atau muncul dari fase pendinginan menggantikan mikroorganisme termofilik dan memperluas proses degradasi sejauh dimaksudkan.



Gambar 2.1 Panas dari Fase Pengomposan

Sumber: Haug, 1993

Gambar 2.1 menyajikan kurva suhu. Dalam semua kasus, 4 fase yang disebutkan telah diamati menunjukkan hubungan sangat erat dengan ciri proses pengomposan. Karena suhu optimum untuk pengomposan sekitar 50-60°C dan dapat terus meningkat, dapat dilakukan beberapa langkah untuk menghindari terjadinya kenaikan suhu kecuali untuk jangka waktu agak pendek. Suhu kadang dibiarkan sampai 70°C untuk menjamin eliminasi patogen.

2.1.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Pengomposan

Efektivitas proses pembuatan kompos sangat bergantung pada mikroorganisme pengurai. Apabila mereka hidup dalam lingkungan yang ideal,

maka mereka akan tumbuh dan berkembang dengan baik pula. Kondisi lingkungan yang ideal mencakup:

a. Keseimbangan Nutrien (rasio C/N)

Parameter nutrien yang paling penting dalam proses pembuatan kompos adalah unsur karbon dan nitrogen. Dalam proses pengurai terjadi reaksi antara karbon dan oksigen sehingga menimbulkan panas (CO_2). Nitrogen akan ditangkap oleh mikroorganisme sebagai sumber makanan. Apabila mikroorganisme tersebut mati, maka nitrogen akan tetap tinggal dalam kompos sebagai sumber nutrisi. Besarnya perbandingan antara unsur karbon dengan nitrogen tergantung pada jenis sampah sebagai bahan baku. Perbandingan C dan N yang ideal dalam proses pengomposan yang optimum akan berkisar antara 20:1 sampai dengan 40:1, dengan rasio terbaik adalah 30:1.

b. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) ideal dalam proses pembuatan kompos secara aerobik berkisar pada pH netral (6–8,5), sesuai dengan pH yang dibutuhkan tanaman. Pada proses awal, sejumlah mikroorganisme akan mengubah sampah organik menjadi asam-asam organik, sehingga derajat keasaman akan selalu menurun. Pada proses selanjutnya derajat keasaman akan meningkat secara bertahap yaitu pada masa pematangan, karena beberapa jenis mikroorganisme memakan asam-asam organik yang terbentuk tersebut.

Derajat keasaman dapat menjadi faktor penghambat dalam proses pembuatan kompos, yaitu dapat terjadi apabila:

- pH terlalu tinggi (di atas 8), unsur N akan menguap menjadi NH_3 . NH_3 yang terbentuk akan sangat mengganggu proses karena bau yang menyengat. Senyawa ini dalam kadar yang berlebihan dapat memusnahkan mikroorganisme.
- pH terlalu rendah (di bawah 6), kondisi menjadi asam dan dapat menyebabkan kematian jasad renik.

c. Suhu (Temperatur)

Suhu merupakan parameter yang penting yang mempengaruhi aktivitas mikroba, dan variasi suhu mempengaruhi berbagai fase kompos (Epstein, 1997; McKinley *et al.*, 1985). Suhu yang dihasilkan selama proses pengomposan, yang berasal dari pemrosesan bahan organik oleh mikroba. Organisme dalam sistem pengomposan dapat dibagi menjadi tiga kelas: *cryophiles* atau *psychrophiles* (0° - 25° C); mesofil (25° - 45° C); dan termofil ($> 45^{\circ}$ C).

Cryophiles hanya ditemukan saat pengomposan selama musim dingin. Mesofil, berkaitan dengan termofil, umumnya mendominasi sistem kompos komersial. Suhu dapat berkisar dari pembekuan dekat 70° C. Dimulai pada suhu lingkungan ketika komponen dicampur, kompos dapat mencapai 40° - 60° C dalam waktu kurang dari dua hari tergantung pada komposisi dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, panas yang dihasilkan dari dalam media kompos, dan menerapkan suhu eksternal tidak diperlukan kecuali ambien temperatur jauh di bawah titik beku. (Young *et al.*, 2005)

d. Ukuran Partikel Sampah

Dekomposisi dan aktivitas mikroba akan makin banyak ketika dekat dengan permukaan sebagai tanda difusi oksigen sangat tinggi. Partikel kecil mempunyai luas permukaan yang lebih dan dapat didegradasi lebih cepat. Haug (1993) mengemukakan bahwa, untuk partikel yang lebih besar dari 1 mm, difusi oksigen akan terbatas di bagian tengah dari partikel, sehingga bagian-bagian interior dari partikel yang lebih besar akan anaerobik dengan tingkat pembusukan lebih lambat. Ukuran partikel juga mempengaruhi retensi kelembaban serta ruang udara bebas dan porositas campuran kompos (Nalyor, 1996). Hasil ukuran partikel yang lebih kecil akan mengurangi ruang udara dan porositas.

Dekomposisi aerobik meningkat dengan ukuran partikel yang lebih kecil, namun ukuran partikel lebih kecil mengurangi efektivitas pasokan oksigen. Dengan memutar secara teratur, masalah ini dapat diselesaikan. Ukuran yang baik adalah 3 mm-50 mm diameter. Pematatan juga dapat mempengaruhi ruang udara bebas. Dengan menggunakan peralatan grinding dan saringan, masalah tersebut dapat dihindari. Pada akhir proses, kepadatan sebagian besar kompos itu akan

diharapkan meningkat karena degradasi dalam ukuran partikel materi, menghasilkan kompos lebih padat. Tetapi dalam beberapa sistem kompos, di mana penguapan dan kehilangan air tinggi, dapat menurunkan berat jenis ketika bahan mengering selama periode pengomposan (Hari *et al.*, 1998).

e. Kelembaban Kompos

Kelembaban dalam kompos berasal baik dari bahan baku awal atau air metabolik yang dihasilkan oleh tindakan mikroba (0,6-0,8 g /g), tetapi selama pengomposan aerobik, 1 g bahan organik menghasilkan sekitar 25 kJ energi panas, yang cukup untuk menguapkan 10,2 g air (Einstein *et al.*, 1986). Ini akan lebih jauh ditambah dengan kerugian akibat aerasi (Naylor, 1996), sehingga mengurangi kadar air selama pengomposan. Oleh karena itu, kelembaban merupakan faktor penting yang harus dikontrol selama pengomposan seperti mempengaruhi sifat struktural dan termal materi, serta tingkat biodegradasi dan proses metabolisme mikroba.

Young (2005) mengemukakan kadar air dalam kompos harus sebesar 60% setelah limbah organik telah dicampur. Tergantung pada komponen campuran, kadar air awal dapat berkisar dari 55% -70%. Namun, jika melebihi 60%, struktural kekuatan kompos memburuk, gerakan oksigen terhambat, dan proses cenderung anaerob. Kedua proses ini menghasilkan bau, peluruhan nutrisi, meningkatkan patogen, dan menutupi saluran udara dalam tumpukan itu, sehingga kedua proses harus dihindari.

Saat kelembaban menurun di bawah 50%, tingkat dekomposisi menurun dengan cepat. Kelembaban yang berlebihan dalam kompos akan mencegah difusi O₂ pada organisme. Penurunan kadar air di bawah 30%-35% harus dihindari karena menyebabkan penurunan aktivitas mikrobiologi. Kelembaban dapat dikontrol secara langsung baik dengan menambahkan air pada kompos atau tidak langsung dengan mengubah suhu operasi atau dengan aerasi. Bahan baku dengan kapasitas kelembaban yang berbeda dapat dicampur untuk mencapai kadar air yang ideal.

f. Kelembaban Udara

Kandungan kelembaban udara optimum sangat diperlukan dalam proses pengomposan. Kisaran kelembaban yang ideal adalah 40–60% dengan nilai yang paling baik adalah 50%. Kelembaban yang optimum harus terus dijaga untuk memperoleh jumlah mikroorganisme yang maksimal sehingga proses pengomposan dapat berjalan dengan cepat. Apabila kondisi tumpukan terlalu lembab, tentu dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme karena molekul air akan mengisi rongga udara sehingga terjadi kondisi anaerobik yang akan menimbulkan bau. Bila tumpukan terlalu kering (kelembaban kurang dari 40%), dapat mengakibatkan berkurangnya populasi mikroorganisme pengurai karena terbatasnya habitat yang ada.

g. Homogenitas Campuran Sampah

Komponen sampah organik sebagai bahan baku pembuatan kompos perlu dicampur menjadi homogen atau seragam jenisnya, sehingga diperoleh pemerataan oksigen dan kelembaban. Oleh karena itu kecepatan pengurai di setiap tumpukan akan berlangsung secara seragam.

2.1.2.4 Mikroorganisme

Penguraian bahan organik dilaksanakan oleh bermacam-macam kelompok mikroorganisme heterotropik seperti *Aspergillus fumigatus*, bakteri, fungi, dan *Actinomycetes*. Organisme tersebut mewakili jenis tanaman dan hewan (Biddlestone dan Gay, 1985). Dalam kompos populasi mikroorganisme dalam tiap fase pengomposan diperlihatkan pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Konsentrasi Mikroorganisme Dalam Kompos

Mikroorganisme		Fase (no. Wet gram compost)			Jumlah Spesies Diidentifikasi
		Mesofilik	Termofilik	Mesofilik-pendinginan	
Bakteri	Mesofilik	10 ⁸	10 ⁶	10 ¹¹	6
	Termofilik	10 ⁴	10 ⁹	10 ⁷	1
<i>Actinomycetes</i>	Termofilik	10 ⁴	10 ⁸	10 ⁵	14
Fungi	Mesofilik	10 ⁶	10 ³	10 ⁵	18
	Termofilik	10 ³	10 ⁷	10 ⁶	16

Sumber : Poncelet, 1977 dalam Haug, 1993

Populasi mikroorganisme dalam pengomposan akan berubah sesuai fase pengomposan yang terkait dengan suhu dari kompos. Secara lebih detail, mikroorganisme yang terkait dalam proses pengomposan berupa:

a. *Aspergillus fumigatus*

Aspergillus fumigatus adalah jamur yang berada di mana-mana. Kehadirannya dalam tanah, tanaman tanaman, kotoran burung, kotoran ternak, kotoran kuda, jerami, pakan ternak, jagung, jerami, rumput dan kompos. Fungi ini juga ditemukan pada dinding kulkas dan kamar mandi dan sistem ventilasi di mana *mold* memiliki kesempatan untuk tumbuh (Millner *et al.*, 1994). Pada penelitian Casella *et al.*, (2001) ditemukan bahwa konsentrasi spora (jamur, terutama *Aspergillus fumigatus*) berkurang sebesar 80% sampai 90% dari 20 m hingga 40 m dari sumber pengomposan.

b. Bakteri

Bakteri merupakan organisme hidup terkecil. Bakteri secara umum bertipe uniselular, tetapi dapat multiselular dalam hubungan dengan sel tunggal juga diketahui. Mereka dapat hidup dalam bentuk sel seperti kapsul (*cocci*), batang (*bacillus*), spiral (*spirillum*), dan variasi antara bentuk seperti bentuk koma (*vibrio*). Kebanyakan bakteri berkembangbiak dengan *binary fission*, pembelahaan menjadi dua sel anak identik.

Beragam jenis bakteri dapat diisolasi dari material kompos. Diketahui bahwa tipe bakteri mesofilik mendominasi di awal tahap pengomposan kemudian digantikan oleh tipe bakteri termofilik ketika suhu meningkat menjadi 40-50°C.

Konsentrasi bakteri total dalam udara ketika pengomposan bervariasi antara 102-105 CFU/m³ dengan tingkat kebanyakan sekitar 102 CFU/m³. Dalam satu kasus ketika *bioaerosols* dihasilkan secara buatan menggunakan drum berputar, tingkat tercatat 107 CFU/m³. Pengadukan mengakibatkan konsentrasi bakteri di udara yang lebih tinggi secara umum, seperti *bioaerosols* lain. Dalam satu kasus, konsentrasi bakteri di udara meningkat selama pengomposan berlangsung (tingkat tertinggi setelah tiga bulan) (Jager *et al.*, 1994 dalam Prasad, 2005).

c. Total Fungi

Total jamur konsentrasi berkisar dari 10^2 CFU untuk sebuah tumpukan di Jerman sampai 10^5 CFU di biofilter, pada *plant* yang sama (Kampfer, 2002). Konsentrasi juga lebih tinggi ketika titik lebih dekat ke titik kegiatan dari melawan arah angin lebih lanjut dari lokasi. Aktivitas di lokasi kompos mengakibatkan konsentrasi fungi tinggi, dalam satu kasus konsentrasi yang tinggi sepuluh kali lipat selama shredding, (Jager *et al.*, 1994 dalam Prasad, 2005).

Hass *et al.*, (1999) melaporkan bahwa ada perbedaan musiman konsentrasi jamur. Ditemukan bahwa jamur konsentrasi yang lebih tinggi selama musim panas daripada musim dingin. Hal ini mungkin disebabkan oleh penurunan temperatur di musim dingin seperti suhu dingin dapat mengekang pertumbuhan mikro-organisme. Dalam kasus lain, di Jerman. Böhm *et al.*, (2002) konsentrasi tertinggi jamur direkam selama pengiriman limbah. Marchand *et al.*, (1995) melaporkan konsentrasi yang tertinggi jamur selama penyimpanan dan pemilahan sampah kegiatan melalui pembuangan kompos dari sebuah terowongan sistem kompos. Hryhorczuk *et al.*, (2001) menemukan bahwa konsentrasi jamur pada area yang lebih tinggi daripada di lokasi walaupun ini disebabkan lokasi situs di daerah berhutan.

d. *Actynomicetes*

Setiap anggota kelompok bakteri yang heterogen gram positif, bakteri anaerob umumnya bersifat berserat dan pola pertumbuhan bercabang yang menghasilkan, dalam banyak bentuk, dalam koloni yang luas, atau *miselium*. *Miselium* dalam beberapa spesies bisa pecah terpisah untuk membentuk batang atau berbentuk *coccoid*.

Banyak genera juga membentuk spora; yang sporangia, atau spora kasus, dapat ditemukan di udara *hyphae*, pada permukaan koloni, atau gratis di dalam lingkungan. Motilitas, jika ada, adalah dilakukan oleh flagela. Banyak jenis *Actinomycetes* terjadi di dalam tanah dan tidak berbahaya bagi hewan dan tumbuhan tingkat tinggi, sementara beberapa patogen penting, dan banyak orang lain yang bermanfaat sumber antibiotik.

2.1.3 Pencemar Mikrobiologis Udara

2.1.3.1 Definisi

Pencemar mikrobiologis udara adalah partikel mikroba, tanaman atau hewan dan dapat disebut debu organik. Hal ini dapat mencakup bakteri hidup atau mati, jamur, virus, alergen, bakteri endotoksin (komponen sel membran bakteri gram-negatif), *antigen* (molekul yang dapat menginduksi respon imun), toksin (racun yang diproduksi oleh mikroorganisme), mycotoxins (racun yang dihasilkan oleh jamur), *glucans* (komponen sel dinding dari *molds*), serbuk sari, serat tanaman.

Sumber pencemar udara mikrobiologis ada 2, yakni yang berasal dari luar ruangan dan dari perkembangbiakan dalam ruangan atau dari manusia, terutama bila kondisi terlalu padat. Contoh kegiatan yang menghasilkan pencemar udara mikrobiologis dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Konsentrasi Pencemar Udara Fungi Berdasarkan Industri/kegiatan

Activity /Industry	Fungi (CFU/m ³)
Animal Facilities	$10^2 - 10^8$
Composting	$10^2 - 10^7$
Agricultural Harvesting and Storage	$10^3 - 10^9$
Sawmill	$10^4 - 10^8$
Manufacturing Technology	$10^2 - 10^6$
Water Treatment (Activated Sludge)	$10^1 - 10^3$

Sumber: Stetzenbach, 1997 dalam Prasad, 2005

Tabel 2.3 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri Berdasarkan Industri/kegiatan

Activity /Industry	Fungi (CFU/m ³)
Animal Facilities	$10^3 - 10^5$
Composting	$10^3 - 10^6$
Agricultural Harvesting and Storage	$10^2 - 10^3$
Sawmill	$10^1 - 10^3$
Manufacturing Technology	$10^2 - 10^6$
Water Treatment (Activated Sludge)	$10^2 - 10^6$

Sumber: Stetzenbach, 1997 dalam Prasad, 2005

Banyak pencemar mikrobiologis udara diketahui menjadi penyebab gejala dan/atau sakit, termasuk berbagai efek yang merugikan kesehatan dan infeksi. Individu dapat menjadi peka terhadap beberapa pencemar mikrobiologis udaras melalui pemaparan berulang.

Semua metode pemantauan tidak memperhatikan pentingnya konsentrasi pencemar mikrobiologis udara. Penggunaan teknik kultur akan melewatkan potensi risiko kesehatan karena *non-viable*, *non-culturable* mikroorganisme seperti juga non-hidup konstituen dapat berkontribusi pada risiko kesehatan.

Perhitungan spora langsung dapat memberikan perkiraan yang agak lebih baik dari pemaparan terhadap iritasi dan reaksi alergi, tetapi tidak dapat menentukan kelangsungan hidup dan dengan demikian potensi untuk infeksi; tetapi metode ini masih melewatkan paparan partikulat dan potongan bakteri (endotoksin), *hyphae* spora dan jamur yang dapat juga menghasilkan iritasi, alergi, dan reaksi beracun. Juga perhitungan spora langsung tidak dapat membedakan antara beberapa spesies (seperti *Penicillium* dan *Aspergillus*), membuat paparan tidak pasti.

2.1.3.2 Standar Lingkungan

Mikroorganisme terdapat di udara bebas, berasal dari sumber-sumber seperti vegetasi dan kegiatan manusia. Konsentrasi mikroorganisme pada udara tergantung pada aktivitas dan faktor-faktor lainnya. Jumlah konsentrasi yang terambil untuk konsentrasi mikroorganisme di udara pada beberapa tempat antara lain :

Tabel 2.4 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri Berdasarkan Lokasi

Kelompok Bakteri	Konsentrasi (CFU/m ³)					
	Indoor			Outdoor		
	summer	winter	Gabungan musim	summer	winter	Gabungan musim
Gram positif, batang	63	68	66	107	127	117
<i>Actinomycetes</i>	22	22	22	32	25	29
spesies <i>Bacillus</i>	29	30	29	50	64	57
lainnya	12	16	14	26	38	32
gram positif, <i>cocci</i>	101	60	82	58	48	53
gram negatif, batang	16	14	15	31	31	31
gram negatif, <i>cocci</i>	12	13	12	12	14	13
tidak diketahui	114	98	106	266	246	256
Total bakteri	306	252	280	474	465	470

Sumber : Tsai, *et al.*, 2002

data diatas menggambarkan konsentrasi bakteri indoor dan outdoor yang diteliti di 100 bangunan di United States berdasarkan musim. konsentrasi bakteri dan fungi di udara luar ruangan menunjukkan konsentrasi sebagai berikut :

Tabel 2.5 Konsentrasi Pencemar Udara Bakteri dan Fungi di Udara Luar Ruangan

Lokasi	Airborne Fungi	Airborne Bakteri	Referensi
Daerah Pinggiran Kota, Uk	273 (0-7.200)	79 (42-1.600)	Jones & Cookson, 1983
Area Perkotaan/ Industri. Uk	1.200	500	Crook & Lacey, 1988
UK, Dalam Rumah	1.096 (28-35.000)		Hunter & Lea, 1994
Udara Ambien, Paris	92 (3-675)		Mouilleseaux et al 1994
Prancis	2.999-9.841 maks		Chaumont et al, 1990
Belanda	941		Verhoeff et al, 1992
Belanda	0-15.643		Beaumont et al, 1985
Dareah Perdesaan, Austria	185	327	Kock et al 1998
Daerah Perdesaan, Scandinavia		99 (2-3.400)	Bovallius et al 1978
Daerah Perkotaan, Scandinavia		850 (100-4.000)	Bovallius et al 1978
Finland	750		Nevalainen et al, 1994
Area Perkotaan, US	930 (0- >8.200)		Shelton et al, 2002
Dareah Perdesaan, US	600	2.000	Folmsbee & Strevett, 1999
Area Perkotaan, US	700	1.500	Folmsbee & Strevett, 1999
Dareah Perdesaan, US	8.651 (80-94.000)	3.204 (160-17.600)	Hryhorczuk et al, 1996

Sumber : Swan, et al., 2003

2.1.3.3 Faktor Yang Mempengaruhi

Faktor alam yang mempengaruhi konsentrasi mikroorganisme di udara:

a) Angin

Kecepatan angin menunjukkan korelasi positif yang sangat baik di setiap lokasi yang menandakan bahwa konsentrasi bakteri akan meningkat dengan meningkatnya pengaruh kecepatan angin. Kecepatan angin sebagai faktor pengenceran dan kelangsungan hidup bakteri di udara sebagian besar telah ditunjukkan dalam model dispersi dan laporan lingkungan

b) Suhu

Suhu juga merupakan faktor variasi yang signifikan bakteri udara, yang mengatur laju perubahan uap air dan laju perubahan panas di antara permukaan dan lingkungan. Hal ini juga mempengaruhi kelangsungan hidup bakteri udara melalui penguapan air selular mereka.

c) Hujan

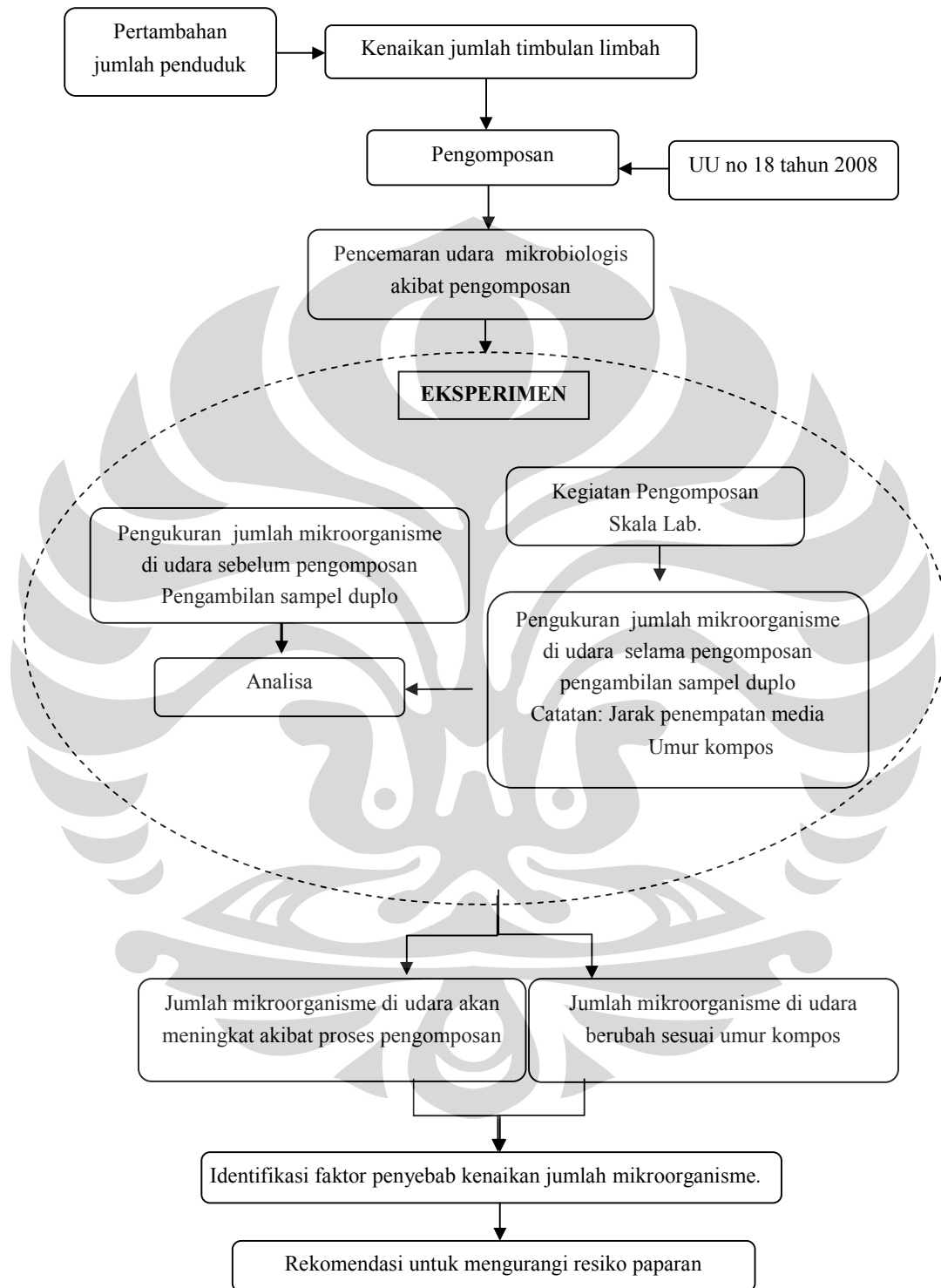
Hujan memiliki tiga efek berbeda. Segera setelah hujan dimulai, pelepasan *ascospores* meningkat. Namun, hujan berat atau berkepanjangan akan mencuci keluar sebagian besar spora dari udara sehingga mengurangi konsentrasinya. Kelembaban, temperatur dan intensitas cahaya juga mempengaruhi pelepasan spora ke udara.

2.1.3.4 Efek Pada Kesehatan

Sebuah penelitian yang dilakukan di Amerika Serikat, yang diambil sebagian besar dari peraturan dan lembaga penelitian sampai pada kesimpulan-kesimpulan berikut setelah memeriksa spektrum penuh potensi agen *bioaerosol* kompos dan dampak kesehatan mereka (Millner, 1995).

- Populasi umum tidak beresiko infeksi sistemik atau jaringan dari kompos yang terkait emisi *bioaerosol*
- *Immuno-compromised* individu akan meningkatkan risiko infeksi oleh berbagai antigen oportunistik seperti *Aspergillus fumigatus*, kejadian ini tidak hanya dalam kompos tetapi juga dalam diri bahan organik yang terpanaskan yang ada di lingkungan alam.
- Penderita asma dan lain alergi mengalami peningkatan risiko untuk tanggapan *bioaerosols* dari berbagai sumber lingkungan dan sumber-sumber debu organik, termasuk kompos.

2.2 KERANGKA KONSEP



Gambar 2.2 Kerangka Konsep

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 PENDEKATAN PENELITIAN

Pada penelitian ini, dalam mencapai tujuan yang diinginkan, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh proses pengomposan terhadap kuantitas mikrobiologi di udara sekitarnya
2. Mencari faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah polutan mikrobiologi di udara pada saat pengomposan

Maka pendekatan yang dilakukan merupakan pendekatan kuantitatif, dimana data yang diperoleh bersifat kuantitatif/berupa angka-angka statistik yang dapat dikuantifikasi. Data tersebut berbentuk variable-variabel dan operasionalisasinya dengan skala ukuran tertentu, misalnya skala nominal, ordinal, interval dan ratio (Sarwono, 1995). Kedua tujuan dapat dicapai dengan perbandingan data-data yang diperoleh dan diolah serta dicari korelasi dari tiap variabelnya.

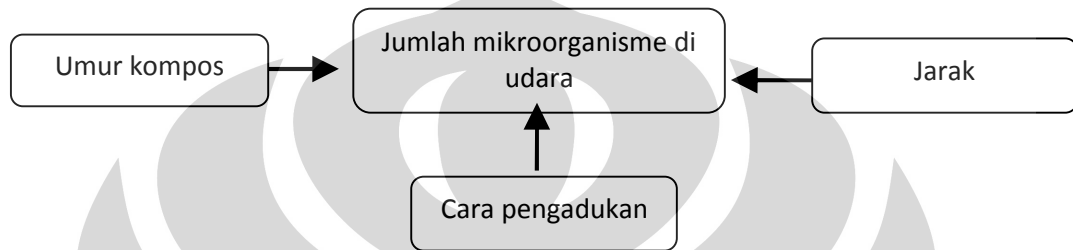
Penelitian ini berupa eksperimentasi yang dilakukan di laboratorium, dengan melakukan proses pengomposan skala individu. Pengambilan sampel data mikrobiologi di udara dilakukan ketika pengadukan kompos. Sampel akan diisolasi dan ditumbuhkan media agar *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan *Tryptic Soy Agar* (TSA) sebagai media pembiakan mikroorganisme di udara yang diambil berkala pada saat pengomposan. Pengambilan sampel dilakukan hingga diperoleh data berupa jumlah koloni dari fungi dan bakteri pada media agar yang mampu mewakili populasi yang diselidiki, yaitu jumlah dari mikroorganisme di udara sekitar area pengomposan. Parameter yang diamati adalah jumlah dari fungi dan bakteri yang tumbuh pada media agar tersebut.

3.2 VARIABEL PENELITIAN

Variabel bebas adalah tipe variabel yang menjelaskan atau mempengaruhi variabel yang lain dan menjadi sebab pada variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah nilai kelembaban pada kompos, umur kompos dan cara

pengadukan kompos, yang akan mempengaruhi jumlah mikroorganisme di udara sekitar komposter.

Variabel terikat merupakan tipe variabel yang dijelaskan atau dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah jumlah mikroorganisme di udara. Sesuai definisi di atas, maka akan dibangun hubungan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Tabel Hubungan Antara Variabel

3.3 SAMPEL DAN POPULASI PENELITIAN

Populasi dari penelitian ini adalah jumlah mikroorganisme di udara yang meliputi fungi dan bakteri. Sampel dari penelitian ini adalah fungi dan bakteri yang tumbuh di media agar, yaitu media PDA untuk fungi dan TSA untuk bakteri.

Tabel 3.1 Jenis Mikroorganisme dan Waktu Inkubasi

Jenis Mikroorganisme	Media Agar	Temperatur Inkubasi	Lama Inkubasi	Waktu Sampling	Hasil
Fungi	Potato Dextrose Agar	25 ^{0*}	2 hari*	2 menit***	Jumlah sel/koloni yang terlihat oleh mata
Bakteri	Tryptic Soy Agar	35 ^{0**}	2 hari**	2 menit***	Jumlah sel/koloni yang terlihat oleh mata

* BD Company

** Jones and Cookson, 1982

***Standard Method of EMS E6 *Bioaerosol Sampler*

3.3.1 Perlengkapan Penelitian :

a) Pembuatan kompos

- Alat:
 - Keranjang kompos
 - Sekop
- Bahan:
 - Sekam Padi
 - Daun kering
 - Limbah padat Organik

b) Pengambilan sampel

Alat yang digunakan:

a. EMS E6 Bioaerosol Sampler



Gambar 3.2 EMS E6 Bioaerosol Sampler

- b. Pompa vakum
- c. Stopwatch
- d. Cawan petri
- e. Inkubator 35 °C
- f. Keranjang kompos

Bahan :

- Media agar TSA
- Media agar PDA
- Alkohol 70 %
- Bahan organik pembuat kompos

3.3.2 Sampel

Sampel yang berupa kompos pada penelitian ini dibuat dan diperoleh dari sampah rumah tangga berupa sayuran hijau dan daun kering, seperti dijelaskan pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Jenis dan Asal Sampel

No	Jenis sampel	Asal	Jumlah
1	Daun kering	Hutan UI	0,5 karung
2	Sayuran hijau	Pasar Ciputat	2 karung
3	EM4	Lab.penyehatan & Lingkungan	150 ml

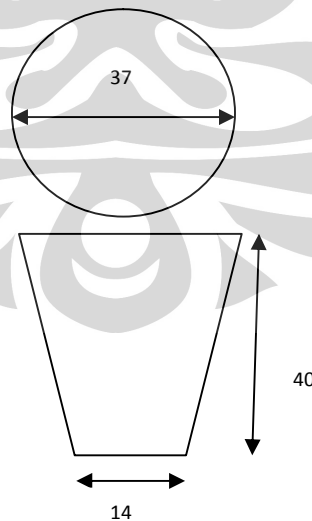
3.3.3 Langkah Sampling

Pengambilan sampling dilakukan selama 2 menit dilakukan sebelum pengadukan berlangsung untuk titik lingkungan dan saat pengadukan dengan lokasi pengambilan sampel dalam jarak 0 meter, 2 meter dan 4 meter dari lokasi keranjang kompos berada.

3.3.4 Volume Kompos

Kompos berada dalam wadah berupa keranjang dengan karakteristik sebagai berikut:

Volume Kompos = 33,378



Gambar 3.3 Profil Keranjang Kompos

Sumber : Kusuma, 2009

3.4 DATA DAN ANALISIS DATA

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini berupa:

3.4.1 Data primer :

Data primer adalah data yang dianggap asli terhadap permasalahan yang diteliti, dan diambil serta diolah langsung oleh peneliti (Alzona, E. 1932). Berikut merupakan jenis data primer yang diperoleh dalam penelitian ini:

- Hasil pengambilan sampel pada eksperimen
- Hasil penelitian dan pengamatan di saat eksperimen berlangsung di laboratorium

Data yang diperoleh akan berupa nilai konsentrasi bakteri dan fungi. Nilai awal yang diperoleh berupa jumlah bakteri atau fungi yang terbaca di cawan. Dari data penelitian harian, dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai bakteri dan fungi rata-rata dengan satuan CFU/m³ dengan rumus

Nilai rata-rata jumlah bakteri :

$$\text{nilai rata-rata} = \frac{\text{jumlah bakteri 1} + \text{jumlah bakteri 2}}{2} \text{CFU/menit} \times \frac{1}{0.0283 \text{m}^3/\text{menit}}$$

Nilai rata-rata jumlah fungi :

$$\text{nilai rata-rata} = \frac{\text{jumlah fungi 1} + \text{jumlah fungi 2}}{2} \text{CFU/menit} \times \frac{1}{0.0283 \text{m}^3/\text{menit}}$$

3.4.2 Data sekunder :

Data sekunder adalah data yang tidak memiliki hubungan langsung dengan kejadian yang diteliti, ini termasuk orang ketiga dan sebagainya. Best (1970) menyatakan bahwa data sekunder memiliki nilai yang terbatas karena kesalahan-kesalahan yang muncul ketika informasi tersebut disampaikan kepada satu orang ke yang lainnya. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Studi pustaka dari sumber-sumber literatur yang terkait dengan pencemar udara mikrobiologis pada pengomposan

Jenis data yang diperoleh dan metode pengumpulan data dipaparkan pada tabel 3.3 dibawah ini

Tabel 3.3 Jenis Data dan Metode Pengumpulan

Data	Jenis Data	Metode Pengumpulan
Temperatur kompos	Primer	Pengukuran
Temperatur lingkungan	Sekunder	Survey
Jumlah bakteri	Primer	Pengukuran
Jumlah fungi	primer	Pengukuran

3.4.3 Teknik analisis data

Analisis dilakukan dengan menggunakan analisis deskriptif dengan sarana statistik, yaitu korelasi antara variable umur kompos dan jarak pengambilan sample terhadap jumlah mikroorganisme di udara sekitar area pengomposan.

3.5 LOKASI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan, Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, Depok.

3.6 WAKTU PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan pada bulan Januari sampai dengan Maret 2010 dengan waktu penelitian sesuai dengan tabel 3.4 di bawah ini

Tabel 3.4 Jadwal Pengambilan Data Penelitian

J (m)	Januari							Februari					Maret					April
	12	13	14	18	21	25	27	1	8	10	15	22	1	8	15	22	29	5
0	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N
2	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N
4	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N
8	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N	T,N

Ket :

T = pengukuran temperatur

N = pengukuran jumlah fungi dan bakteri

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PENGUKURAN

Proses pengomposan dilakukan sendiri dan dimulai pada tanggal 12 Januari 2010 dan berakhir pada tanggal 5 April 2010. Untuk proses pengomposan ini digunakan bahan berupa daun kering yang dicacah halus dengan mesin pencacah, dan limbah padat organik rumah tangga berupa sayuran hijau dari pasar yang sudah di cacah kasar. Campuran daun kering dan sayuran dibuat sebisa mungkin memenuhi persyaratan C/N ratio dalam pembuatan kompos yaitu 30:1. Selama pencampuran bahan, ditambahkan juga larutan EM4 sebagai *activator* kompos. Kompos yang dibuat diletakkan dalam keranjang dengan volume 33, 378 Liter .

Proses pengomposan yang terjadi merupakan proses aerob. Keberadaan oksigen dalam kompos diperoleh melalui udara luar dan pengadukan yang dilakukan dua kali seminggu. Lama pengomposan dilakukan hingga kompos mencapai umur 92 hari. Sampel diambil ketika pengadukan berlangsung, dimana jarak pengambilan sampel dari tumpukan kompos adalah sejauh 0 meter, 2 meter dan 4 meter. Pengambilan sampel lingkungan diambil di titik dengan jarak 8 meter dari tumpukan kompos dan dilakukan sebelum pengadukan berlangsung. Dari pengukuran dan perhitungan yang dilakukan, maka diperoleh konsentrasi bakteri dan fungi yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2

Tabel 4.1 Konsentrasi Bakteri

		Hari (CFU/m ³)																
		0	1	5	8	15	19	22	29	31	36	43	50	64	71	78	85	92
Jarak (m)	0	1.196	2.005	1.443	5.035	1.210	574	2.067	5.565	2.562	839	5.954	239	1.784	2.792	1.299	2.747	1.581
	2	1.196	2.182	2.986	2.509	1.378	1.148	2.226	1.634	1.431	1.095	2.906	689	2.129	2.138	839	2.032	1.396
	4	1.196	1.890	1.402	2.686	2.155	954	1.740	1.025	777	645	1.422	857	1.104	2.023	654	1.899	1.042
	8	1.196	836	1.649	1.034	610	530	1.034	459	442	981	504	689	451	954	124	574	1.281
	Rata-rata	1.196	1.729	1.870	2.816	1.338	802	1.767	2.171	1.303	890	2.697	618	1.367	1.977	729	1.813	1.325

sumber : Hasil olahan peneliti (2010)

Tabel 4.2 Konsentrasi Fungi

		Hari (CFU/m ³)																
		0	1	5	8	15	19	22	29	31	36	43	50	64	71	78	85	92
Jarak (m)	0	795	2.933	2.850	4.382	4.178	1.564	3.198	3.401	1.776	1.378	2.456	1.511	3.613	2.155	795	2.473	0
	2	795	3.189	3.993	3.189	3.004	1.281	3.392	1.113	1.802	459	1.369	875	3.860	1.908	1.546	1.087	2.270
	4	795	2.588	2.426	3.083	2.394	1.210	2.641	901	2.332	777	2.412	1.864	2.871	1.272	309	2.032	1.590
	8	795	1.631	1.514	2.200	1.422	1.087	2.332	963	442	521	928	1.122	168	1.060	97	645	2.032
	Rata-rata	795	2.585	2.696	3.213	2.750	1.285	2.891	1.595	1.588	784	1.791	1.343	2.628	1.599	687	1.559	1.473

sumber : Hasil olahan peneliti (2010)

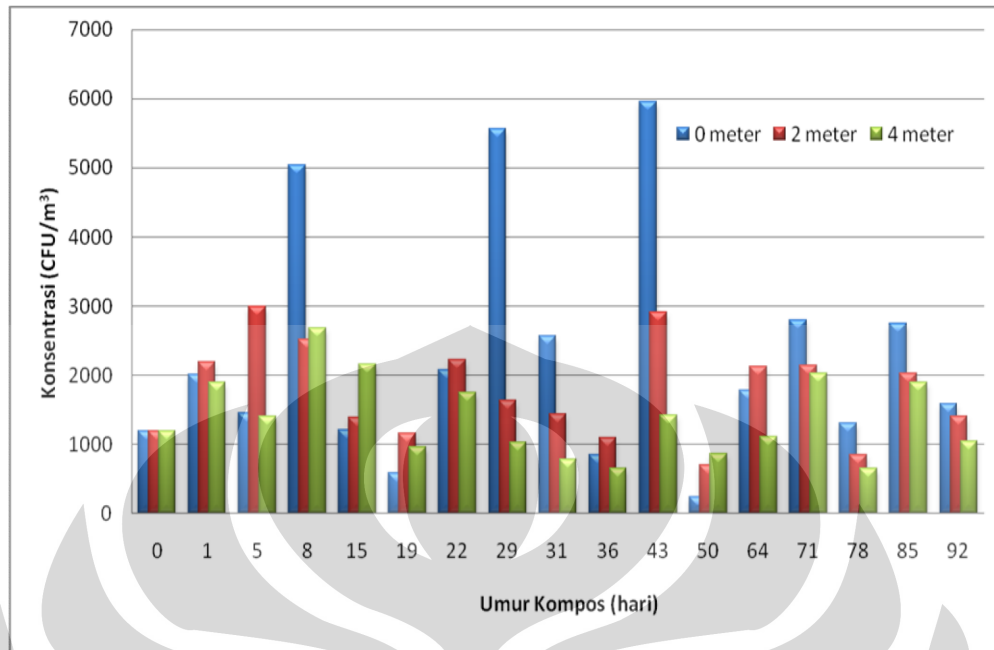
Dari data pada tabel 4.1 di atas bisa hasil pengukuran konsentrasi bakteri terhadap jarak dan umur kompos. Hasil pengukuran menunjukkan perubahan konsentrasi bakteri akibat jarak pengukuran dan umur kompos. Nilai maksimum untuk bakteri adalah pada hari ke 29 terjadi di jarak 0 m dengan jumlah 5.954 *Colony Forming Unit* (CFU) /m³. Berdasarkan tabel 4.2, hasil pengukuran konsentrasi fungi yang menunjukkan jumlah fungi maksimum sebesar 4.382 CFU/m³ pada hari ke ke-8 dengan jarak 0 m

4.2 ANALISIS PERUBAHAN KONSENTRASI MIKROORGANISME

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa adanya perbedaan konsentrasi bakteri dan fungi di udara sesuai dengan umur kompos dan jarak pengambilan sampel. Pemilihan analisis berdasarkan umur kompos dan jarak kompos adalah untuk melihat adanya umur dimana konsentrasi bakteri dan fungi pada kompos berada pada puncaknya dan jarak aman antara individu terhadap konsentrasi bakteri dan fungi.

4.2.1 Analisis Konsentrasi Bakteri Berdasarkan Umur Kompos

Konsentrasi bakteri di udara yang diperoleh dari pengambilan sampel ketika pengomposan berlangsung akan mewakili konsentrasi bakteri yang ada di dalam kompos. Bakteri di kompos akan terlepas ke udara, melalui pengadukan yang dilakukan maupun terbawa udara panas yang dihasilkan kompos tersebut. Grafik dibawah ini menggambarkan konsentrasi bakteri terhadap umur kompos.



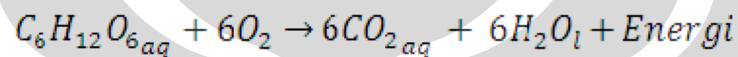
Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Bakteri Terhadap Umur Kompos

Konsentrasi pada jarak 0 meter menggambarkan konsentrasi bakteri yang berada di udara di area pengomposan yang belum terdispersi dalam udara sekitar. Konsentrasi ini mewakili jumlah bakteri pada kompos yang terbawa ke udara pada saat pengadukan berlangsung yang tertangkap oleh EMS *Sampler*. Dari grafik di atas dilihat bahwa konsentrasi bakteri mengalami kenaikan dan penurunan di umur kompos tertentu. Pada hari ke-0 menunjukkan konsentrasi ruangan sebelum proses pengomposan dimulai, konsentrasi bakteri di udara menunjukkan nilai 1.196 CFU/m³.

Pada hari berikutnya, yaitu saat kompos berumur satu hari, konsentrasi bakteri di udara mengalami peningkatan menjadi 2.005 CFU/m³, kemudian menurun di umur dua hari menjadi 1.443 CFU/m³. Setelah mengalami penurunan, konsentrasi bakteri meningkat tinggi dengan nilai 5.035 CFU/m³ di umur 8 hari. Perubahan nilai ini terjadi dikarenakan pada hari 0, kondisi kompos sangat lembab dipengaruhi oleh air yang dikeluarkan sayuran dan penyiraman kompos dengan EM4. Pada umur satu hari, kompos tidak disiram karena kondisi kompos yang masih lembab, sehingga pada saat pengadukan bakteri yang terbawa ke udara adalah bakteri yang telah tercampur dalam kompos. Jumlah bakteri menurun di hari berikutnya, disebabkan adanya penyesuaian antara bakteri dan lingkungan,

yaitu bakteri yang berada dalam kompos menyesuaikan diri dengan nutrisi yang disediakan oleh materi kompos serta suhu kompos. Pada masa ini proses pengomposan memasuki fase mesofilik, dimana suhu kompos dapat mengalami peningkatan hingga 44⁰C, dalam penelitian ini suhu tertinggi mencapai 41⁰C.

Peningkatan suhu pada kompos merupakan efek dari aktivitas bakteri yang memetabolisme karbon dari bahan organik di dalam kompos secara aerob untuk memproduksi karbon dioksida dan energi. Proses ini merupakan reaksi oksidasi-reduksi, dimana elektron ditransfer dari glukosa dan diterima oksigen untuk kemudian menghasilkan karbon dioksida dan air. Oleh karena itu, dalam reaksi ini oksigen direduksi sementara karbon dioksidasi. Reaksi yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut:



proses ini akan menghasilkan energi, sebagian dari energi yang dihasilkan digunakan oleh mikroorganisme untuk reproduksi dan pertumbuhan, sisanya dilepaskan sebagai panas, yang menyebabkan peningkatan temperatur pada kompos. Temperatur kompos juga berpengaruh terhadap konsentrasi bakteri, dimana temperatur yang rendah menghasilkan kepadatan populasi organisme dalam kompos sejalan dengan penelitian oleh Young, *et al.*, (2005). Populasi mikroorganisme yang padat menunjukkan terjadinya penguraian materi organik.

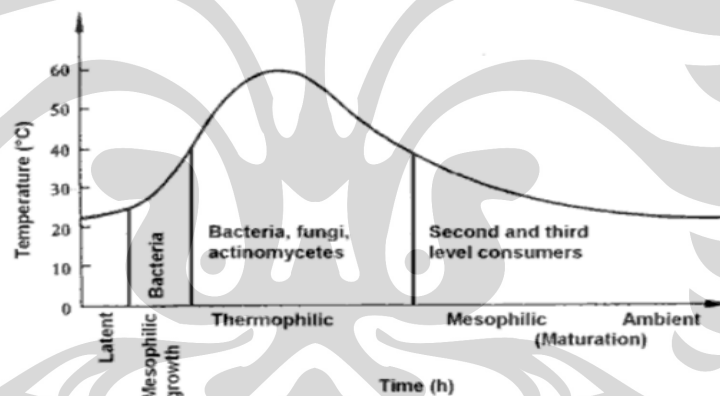
Konsentrasi bakteri menurun kembali dari 5.035 CFU/m³ pada hari ke-8 menjadi 1.210 CFU/m³ pada hari ke-15. Pola yang sama juga terjadi di hari-hari berikutnya, dimana setelah mengalami penurunan, konsentrasi bakteri akan kembali bertambah hingga mencapai konsentrasi yang tinggi hingga melebihi nilai 5.000 CFU/m³ dan kemudian mengalami penurunan. Umur kompos 8, 29 dan 43 hari menunjukkan konsentrasi bakteri yang tinggi. Konsentrasi ini kemudian menurun di umur kompos 15, 31 dan 50 hari, dipengaruhi oleh tidak cukupnya nutrisi pada kompos untuk jumlah bakteri yang ada. Dari data juga diketahui konsentrasi maksimum dan minimum bakteri di udara menurut umur kompos yang disajikan pada tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Nilai Maksimum dan Minimum Konsentrasi Bakteri

Nilai	CFU/m ³	Keterangan
Maksimum	5.954	Jarak 0 meter
Minimum	645	Jarak 4 meter
Rata-rata	1.580	Seluruh data
Standar deviasi	1.653	

sumber : Hasil olahan peneliti (2010)

Nilai konsentrasi tertinggi terjadi saat kompos berumur 43 hari dengan 5.954 CFU/m³. Nilai ini dipengaruhi keadaan kompos yang sudah memasuki fase termofilik, dimana suhu kompos dapat meningkat hingga 70⁰C. Pertumbuhan mikroorganisme di kompos dipengaruhi oleh suhu kompos. Fase pengomposan yang terjadi bisa dilihat dari grafik ini.



Gambar 4.2 Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Umur Kompos

Sumber: Polprasert, 2007

Dari gambar di atas bisa dilihat bahwa suhu mempengaruhi konsentrasi bakteri di udara. Akan tetapi pada proses pengomposan yang dilakukan, suhu kompos tidak mencapai suhu tertinggi dikarenakan seringnya pengadukan dan penyiraman kompos dilakukan. Temperatur juga tidak meningkat karena volume kompos yang tidak terlalu besar, sehingga panas yang dihasilkan tidak tertahan didalam tumpukan kompos. Dalam fase termofilik, bakteri termofilik akan bekerja secara aktif sehingga menghasilkan energi yang tersalurkan dengan meningkatnya temperatur kompos.

Nilai minimum konsentrasi bakteri adalah 293 CFU/m³ di hari ke 50. Secara umum jumlah konsentrasi bakteri di dalam kompos dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

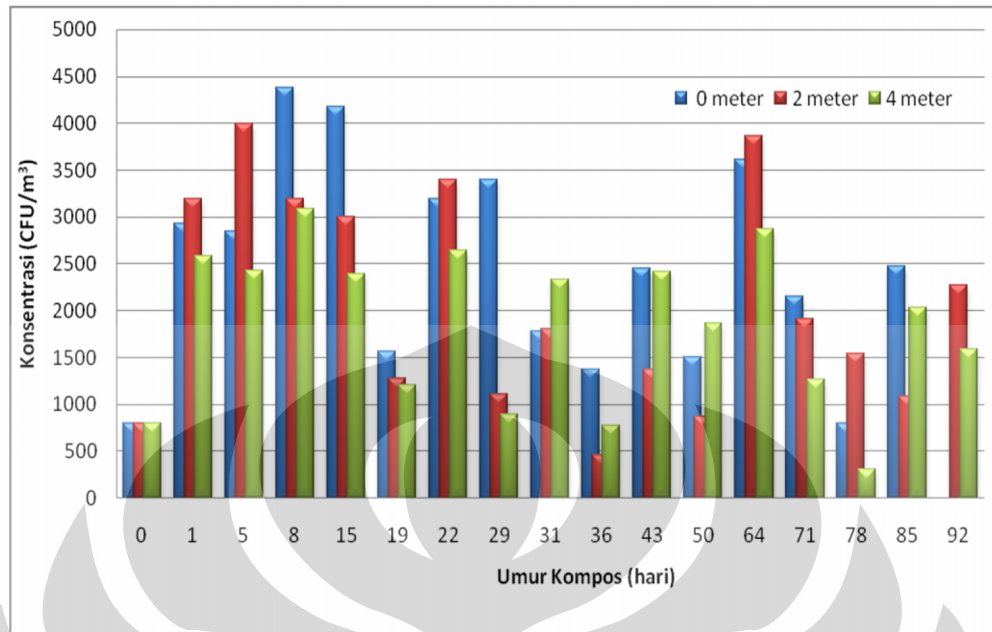
- adanya kompetisi untuk nutrisi antara mikroorganisme dalam kompos,
- adanya sifat *inhibition* (saling menghambat pertumbuhan) dan *antagonism* (saling mematikan) oleh mikroorganisme di kompos
- konsumsi oleh sesama mikroorganisme
- suhu yang dihasilkan oleh mikroorganisme
- dihasilkannya antibiotik oleh mikroorganisme tertentu.

Faktor-faktor tersebut salah satunya dapat terlihat pada umur kompos 8 hari. Konsentrasi bakteri tinggi yang mengakibatkan jumlah bakteri tidak seimbang dengan nutrisi yang tersedia di dalam kompos. Jumlah bakteri yang banyak dengan nutrisi yang terbatas mengakibatkan terjadinya kompetisi untuk memperebutkan nutrisi sehingga jumlah populasi bakteri kembali menyusut.

Konsentrasi bakteri kemudian memiliki konsentrasi yang relatif stabil dari umur kompos 64 hari hingga 92 hari. Nilai ini dikarenakan setelah melewati umur 64 hari kompos memasuki fase pendinginan, sehingga bakteri termofilik akan digantikan kembali dengan bakteri mesofilik sehingga perkembangbiakan dan aktivitas bakteri di dalam kompos berkurang.

4.2.2 Analisis Konsentrasi Fungi Berdasarkan Umur Kompos

Fungi merupakan salah satu organisme yang membantu proses dekomposisi kompos. Dekomposisi ini dapat terjadi karena kompos tersusun dari senyawa yang mengandung karbon dan nitrogen. Karbon merupakan 50% dari berat kering kebanyakan organisme dan dibutuhkan untuk mensintesis aneka macam molekul organik dalam struktur dan kerja sel. Dua sumber karbon yang tersedia adalah karbon dalam wujud molekul organik yang digunakan organisme heterotrof dan karbon yang terdapat pada karbon dioksida bagi organisme autotrof. Pada kompos, organisme yang ada merupakan bakteri dan fungi yang memperoleh energi dari reaksi oksidasi reduksi organik, yang biasa disebut organotrof. Konsentrasi fungi pada pengomposan mengalami perubahan menurut umur kompos, yang digambarkan pada grafik dibawah ini



Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Fungi Terhadap Umur Kompos

Pada grafik dilihat adanya perubahan konsentrasi fungi, dengan konsentrasi yang tinggi berada pada umur kompos 8 dan 15 hari, yang berada di nilai 4.382 dan 4.178 CFU/m³. Perubahan nilai konsentrasi fungi dipengaruhi beberapa hal seperti fase kompos, kelembaban dan kandungan nutrisi dalam kompos. Kebanyakan fungi akan berada pada lapisan luar kompos ketika suhu meninggi yang disebutkan dalam penelitian Trautmann, 1996.

Peranan fungi dalam proses pengomposan adalah untuk membantu bakteri menguraikan material kompos. Fungi mampu untuk menghancurkan susunan material keras berkayu dan berserat untuk memberikan nutrisi bagi bakteri sehingga proses dekomposisi dapat berlangsung. Fungi juga dapat mengurai residu organik yang terlalu kering, asam atau memiliki konsentrasi nitrogen rendah untuk dekomposisi bakteri. Fungi tumbuh dan berkembang dengan cepat, terutama di fase mesofilik dan termofilik dalam kompos. Hal ini bisa dilihat pada grafik, dimana konsentrasi fungi lebih tinggi di awal dan pertengahan pengomposan yang merupakan fase mesofilik dan termofilik dalam proses pengomposan.

Salah satu nutrisi yang mempengaruhi konsentrasi fungi adalah nitrogen. Fungi memiliki kebutuhan nitrogen lebih rendah dari bakteri. Akan tetapi, walau memiliki kebutuhan nitrogen yang lebih kecil dari bakteri, fungi akan mengalami

persaingan dengan bakteri di lingkungan yang kurang nitrogen. Hal ini dapat terjadi dalam proses pengomposan karena bahan kompos biasanya *cellulosic* sehingga rendah kadar nitrogennya. Persaingan dengan bakteri akan menekan konsentrasi fungi di dalam kompos. Di sisi lain, beberapa jenis fungi seperti *Agaricus bisporus* yang termasuk *basidiomycota* tidak mampu mengurai nitrogen anorganik seperti ammonia atau nitrate. Jenis fungi ini hanya bisa memenuhi kebutuhan nitrogennya dari nitrogen organik yang tersedia dalam bakteri, sehingga fungi ini akan mengambil kebutuhan nitrogen organiknya dari bakteri.

Oleh karena itu aktivitas bakteri yang tinggi mampu menyediakan nitrogen bagi fungi dalam artian tersedianya nitrogen organik yang dinyatakan oleh Deacon, 2004. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi fungi dan bakteri saling mempengaruhi. Hubungan saling menguntungkan ditunjukkan karena bakteri memperoleh beberapa nutrisi dari material yang sulit diurai oleh fungi, dan fungi memperoleh nitrogen organik dari bakteri. Hubungan lain adalah adanya kompetisi untuk beberapa nutrisi seperti karbon, hidrogen, oksigen dan karbohidrat.

Nilai konsentrasi minimum dan maksimum fungi dapat dilihat pada tabel ini:

Tabel 4.4 Nilai Maksimum dan Minimum Konsentrasi Fungi

Nilai	CFU/m ³
Maksimum	4.382
Minimum	795
Rata-rata	1.819
Standar deviasi	1.201

sumber : Hasil olahan peneliti (2010)

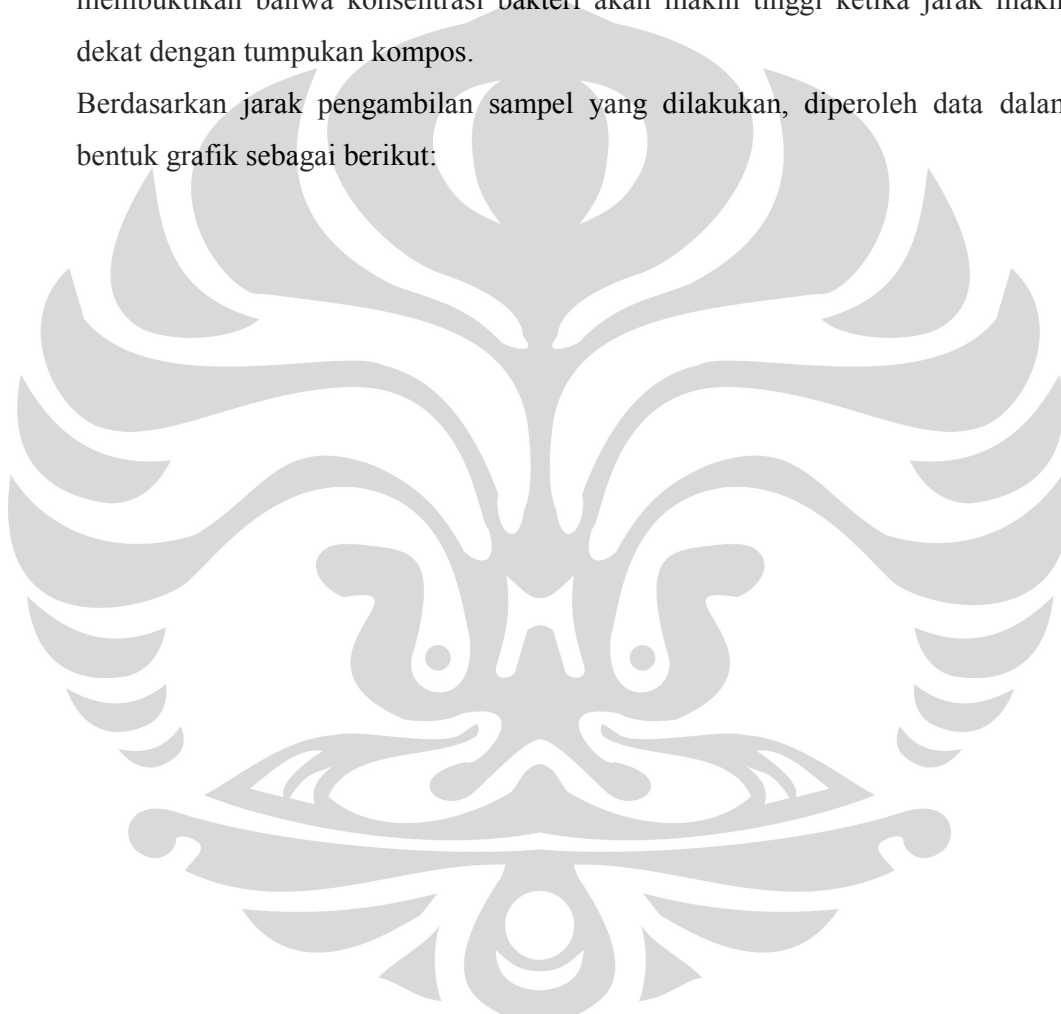
Konsentrasi maksimum fungi adalah 4.382 CFU/m³ pada saat kompos berumur 8 hari dan mencapai konsentrasi terendah sebesar 795 CFU/m³ pada umur 78 hari. Berbeda dari konsentrasi bakteri dalam kompos yang mengalami kenaikan dan penurunan sesuai dengan kondisi kompos, fungi juga mengalami perubahan konsentrasi walaupun tidak se-ekstrim konsentrasi bakteri. Konsentrasi tertinggi fungi berada di fase mesofilik, berbeda dengan konsentrasi tertinggi bakteri yang dicapai ketika kompos berada fase termofilik. Hal ini dipengaruhi keadaan, bahwa

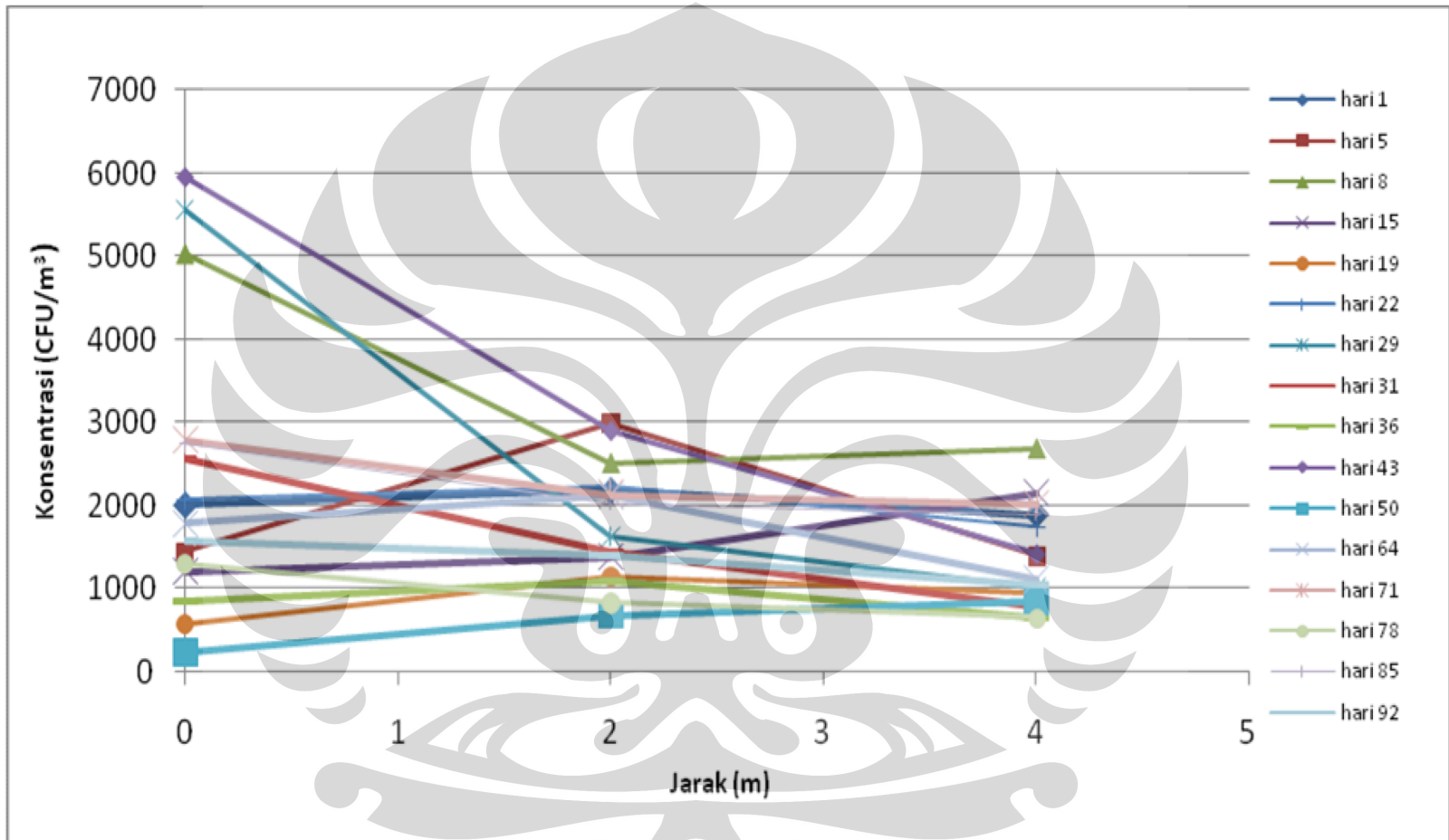
termofilik fungi diteliti berada dalam setiap tahap pengomposan, termasuk di awal ketika tahap mesofilik seperti dinyatakan dalam penelitian Haug, 1993.

4.2.3 Analisis Konsentrasi Bakteri Berdasarkan Jarak

Pengambilan sampel dilakukan dengan variasi jarak 0 meter, 2 meter dan 4 meter segaris lurus dari tumpukan kompos. Pemberian jarak ini untuk membuktikan bahwa konsentrasi bakteri akan makin tinggi ketika jarak makin dekat dengan tumpukan kompos.

Berdasarkan jarak pengambilan sampel yang dilakukan, diperoleh data dalam bentuk grafik sebagai berikut:





Gambar 4.4 Grafik Jumlah Bakteri Terhadap Jarak Pengambilan Sampel

Pada grafik diatas ditunjukkan perubahan konsentrasi bakteri berdasarkan jarak pengambilan sampel. Nilai bakteri pada jarak 0 meter menunjukkan konsentrasi tertinggi pada umur kompos berada pada 8, 29, 31, 43, 71, 78, 85 dan 92 hari. Sementara pada hari ke 1, 5, 15, 19, 22, 36, 50, dan 64 menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi bakteri ketika berjarak 2 meter dari tumpukan kompos. Sementara pada jarak 4 meter, yang merupakan jarak pengambilan sampel terjauh dari tumpukan kompos, nilai konsentrasi bakteri yang diperoleh merupakan konsentrasi bakteri terkecil kecuali pada umur kompos 15, 50 hari. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi bakteri di udara masih belum pasti diantara jarak 0-2 meter, akan tetapi diperkirakan menurun ketika melewati jarak 4 meter. Dengan melihat data nilai maksimum dan minimum konsentrasi,

Tabel 4.5 Nilai Maksimum dan Minimum Jumlah Bakteri

Nilai	CFU/m ³	Jarak
Maksimum	5.954	0 meter
Minimum	645	4 meter
Rata-rata	1603	
Standar deviasi	647,95	

sumber : Hasil olahan peneliti (2010)

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi tertinggi bakteri di udara adalah pada jarak 0 meter dan 2 meter. Konsentrasi bakteri menurun pada jarak 4 meter. Konsentrasi bakteri maksimum adalah 5.954 CFU/m³ terjadi pada jarak 0 meter dan konsentrasi minimum sebesar 645 CFU/m³ terjadi pada jarak 4 meter. Perbedaan konsentrasi ini terjadi dikarenakan penambahan jarak antara tumpukan kompos dan lokasi sampling memperbesar kesempatan untuk terjadinya sirkulasi udara. Sirkulasi udara ini akan mengakibatkan masuknya udara luar menggantikan udara dalam ruangan sehingga konsentrasi bakteri di udara yang diemisikan kompos mengalami pengenceran (dilusi).

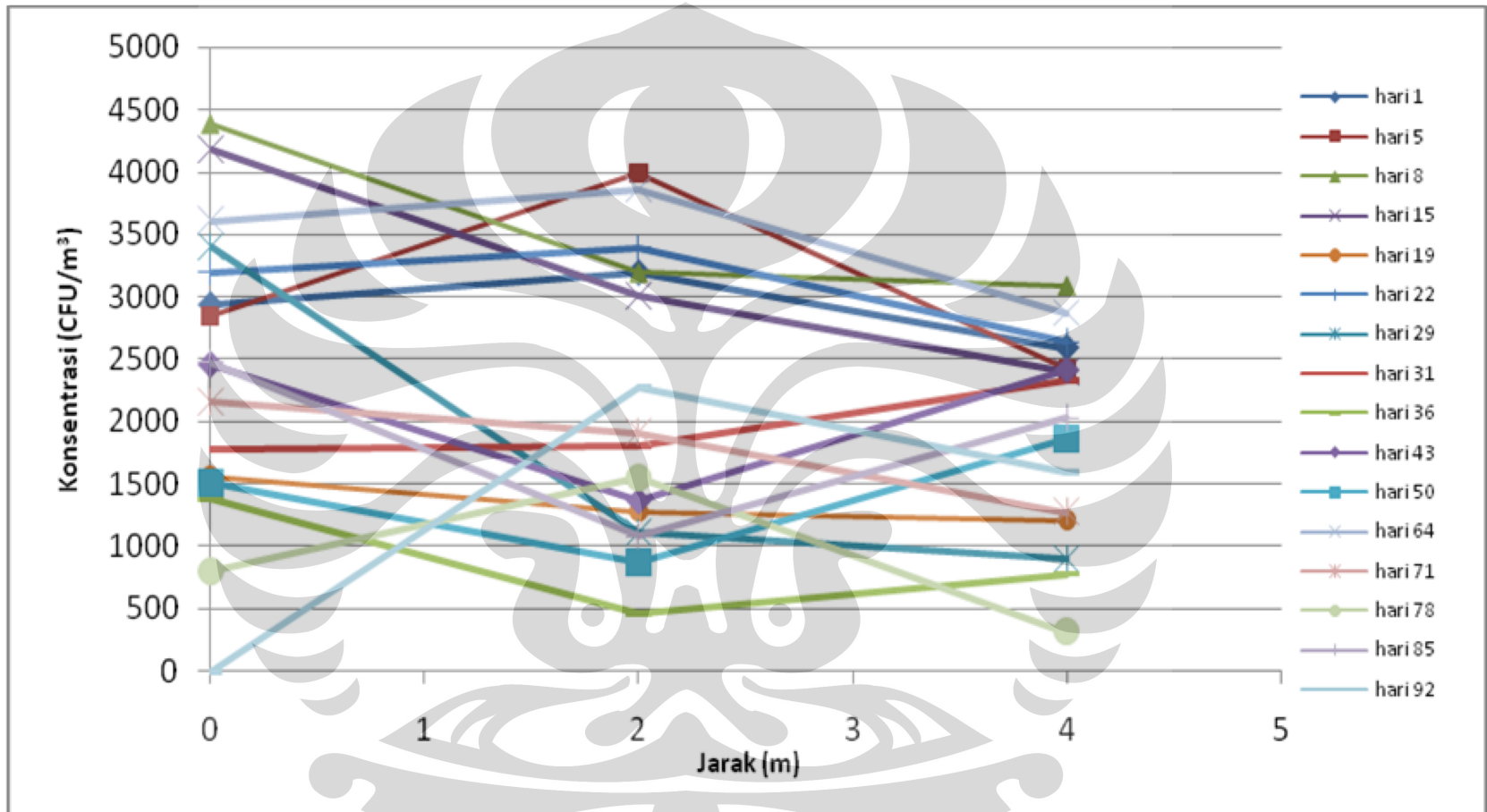
Dari hasil penelitian ini bisa dilihat jarak dimana konsentrasi bakteri berada pada batas yang dapat diterima. Jarak aman untuk mengurangi tingkat

paparan terhadap bakteri terhadap individu yang melakukan pengomposan berada jarak minimal atau lebih dari 4 meter.

4.2.4 Analisis Konsentrasi Fungi Berdasarkan Jarak

Hasil penelitian pada konsentrasi fungi berdasarkan jarak pengambilan sampel disajikan pada Gambar 4.5 di bawah ini





Gambar 4.5 Grafik Jumlah Fungi Terhadap Jarak Pengambilan Sampel

Data menunjukkan adanya perubahan konsentrasi fungi terhadap jarak. Data menunjukkan konsentrasi fungi sangat bervariasi terhadap jarak, terutama jarak 0-2 meter. Bila melihat perbedaan antara konsentrasi rata-rata pada jarak 0 meter dan konsentrasi di lingkungan, terlihat perbedaan yang tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan oleh keberadaan fungi di dalam ruangan tersebut yang cukup tinggi.

Akan tetapi, hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan penurunan konsentrasi fungi terhadap jarak pengambilan sampel yang dilakukan. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah jarak terjadinya konsentrasi maksimum dan konsentrasi minimum dalam pengambilan sampel.

Tabel 4.6 Nilai Maksimum dan Minimum Jumlah Fungi

Nilai	CFU/m ³	Jarak
Maksimum	4.382	0 meter
Minimum	309	4 meter
Rata-rata	1.879	
Standar deviasi	539,75	

sumber : Hasil olahan peneliti (2010)

Nilai konsentrasi maksimum terjadi pada jarak 0 meter dengan konsentrasi 4.382 CFU/m³ dan konsentrasi minimum sebesar 309 CFU/m³ terjadi pada jarak 4 meter. Perbedaan konsentrasi ini membuktikan bahwa jarak mempengaruhi konsentrasi fungi di udara. Jarak aman agar individu dapat beraktivitas sementara aktivitas pengomposan berlangsung adalah lebih besar dari 4 meter terhadap lokasi tumpukan kompos. Jarak aman ini bertujuan agar individu dapat beraktivitas tanpa terganggu atau terkena resiko terpapar pencemar mikrobiologis berupa fungi dari kompos.

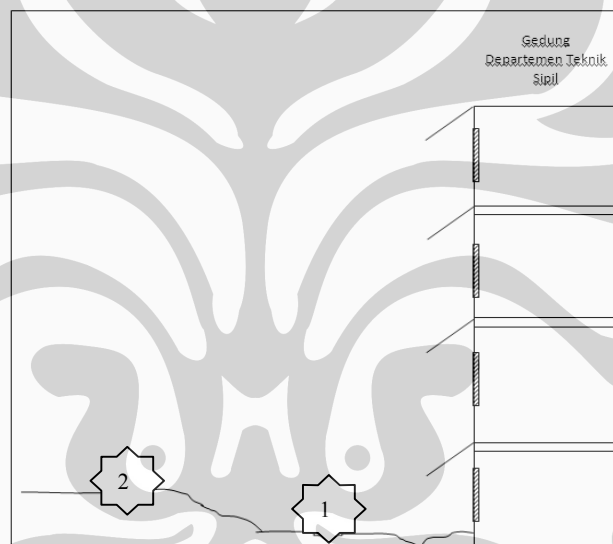
4.3 ANALISIS FAKTOR YANG MEMEPENGARUHI KONSENTRASI BAKTERI DAN FUNGI

Selain bakteri dan fungi yang dihasilkan oleh proses pengomposan, konsentrasi bakteri dan fungi di lingkungan sekitar atau outdoor dan kondisi fisik bangunan serta kelembaban udara juga turut mempengaruhi hasil pengukuran.

Berikut ini diuraikan faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi bakteri dan fungi selama kegiatan penelitian.

4.3.1 Konsentrasi Bakteri Dan Fungi Outdoor

Konsentrasi udara outdoor mempengaruhi konsentrasi dari bakteri dan fungi pada udara di ruangan laboratorium tempat penelitian dilaksanakan. Walau kondisi ruangan laboratorium dibuat tertutup pada saat pengambilan sampel dilakukan, pada hari biasa semua ventilasi dan jendela di ruangan tersebut terbuka. Kondisi bakteri dan fungi outdoor dapat masuk dan mempengaruhi konsentrasi bakteri dan fungi pada pengambilan sampel.



Gambar 4.6 Lokasi Pengambilan Sampel Outdoor Area Departemen Teknik Sipil FTUI

Pengambilan konsentrasi bakteri dan fungi pada outdoor dilakukan di dua titik, yaitu titik 1 yang berjarak 7 meter dan titik 2 yang berjarak 9,7 meter dari bangunan Departemen Teknik Sipil. Kedua titik terletak segaris dengan jendela 3 yang dikondisikan terbuka ketika pengambilan sampel ruangan berlangsung.

Tabel 4.7 Konsentrasi Fungi Dan Bakteri Outdoor

Titik	Fungi (CFU/m ³)	Bakteri (CFU/m ³)
1	1.731	1.519
2	1.307	671

sumber : Hasil olahan peneliti (2010)

dari tabel di atas, konsentrasi fungi dan bakteri outdoor setara dengan konsentrasi bakteri dan fungi yang diambil di titik lingkungan dan titik 4 meter saat pengomposan. Jumlah ini lebih kecil dari konsentrasi di titik 0 meter, menunjukkan bahwa proses pengomposan mempengaruhi konsentrasi bakteri dan fungi di udara. Dari data outdoor juga bisa dilihat bahwa pada titik 4 meter, konsentrasi fungi masih lebih besar dari konsentrasi outdoor dan lingkungan, sementara konsentrasi bakteri pada titik tersebut hampir serupa dengan konsentrasi outdoor dan lingkungan.

4.3.2 Kondisi Fisik Bangunan

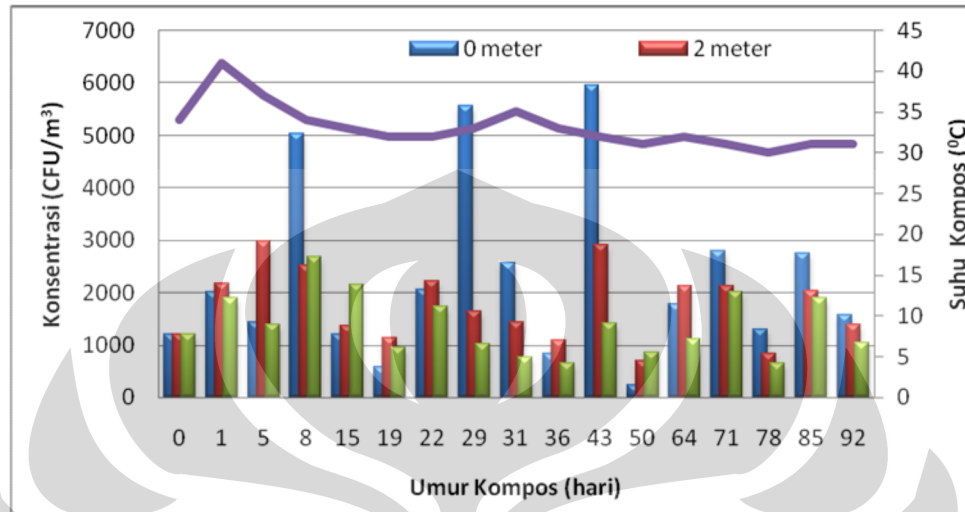
Lokasi pengomposan berada di ruangan laboratorium, yang bertempat di lantai 4 Departemen Teknik Sipil. Posisi ruangan yang berada di lantai 4 cukup mempengaruhi konsentrasi bakteri dan fungi. Di udara pengaruh ini disebabkan pada ketinggian tersebut, jumlah angin yang berhembus dan masuk lewat ventilasi ruangan lebih besar. Besarnya angin yang masuk ke ruangan akan menghasilkan sirkulasi udara yang baik pada ruangan.

Dari segi material, dinding bangunan tersusun dari beton yang dilapisi cat dinding, dan meja laboratorium dan lantai yang dilapisi keramik. Material beton merupakan material hidrofilik yang berarti seperti kayu, material ini mampu menyerap air yang jatuh kepermukaannya. Kondisi material yang lembab akibat air yang terserap dapat menjadi tempat pertumbuhan fungi. Akan tetapi, beton merupakan material berbatu yang kandungan nutrisinya kurang mendukung pertumbuhan fungi. Keramik merupakan material yang tidak menyerap air sehingga tidak mendukung untuk tumbuhnya fungi. Hal ini berarti dari segi material, kondisi fisik bangunan tidak mempengaruhi konsentrasi bakteri dan fungi yang diukur.

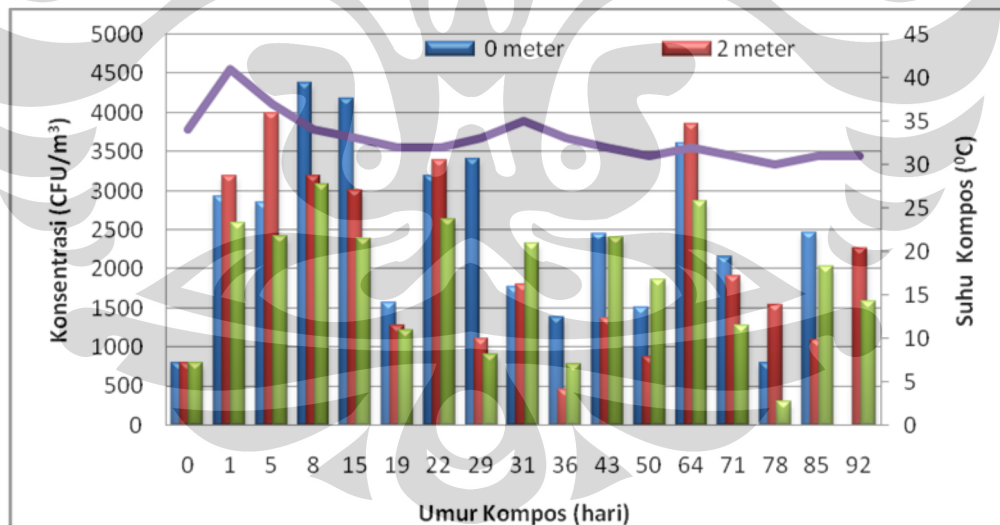
4.3.3 Faktor Kelembaban

Kelembaban dari lingkungan sekitar juga berpengaruh pada konsentrasi bakteri dan fungi di udara. Fungi lebih mampu bertahan di lingkungan dengan kelembaban rendah dibandingkan dengan bakteri. Hal ini karena fungi mampu

untuk mengambil kelembaban di udara dan menyerap kelembaban dari material yang memiliki tekanan osmotik tinggi.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Konsentrasi Bakteri

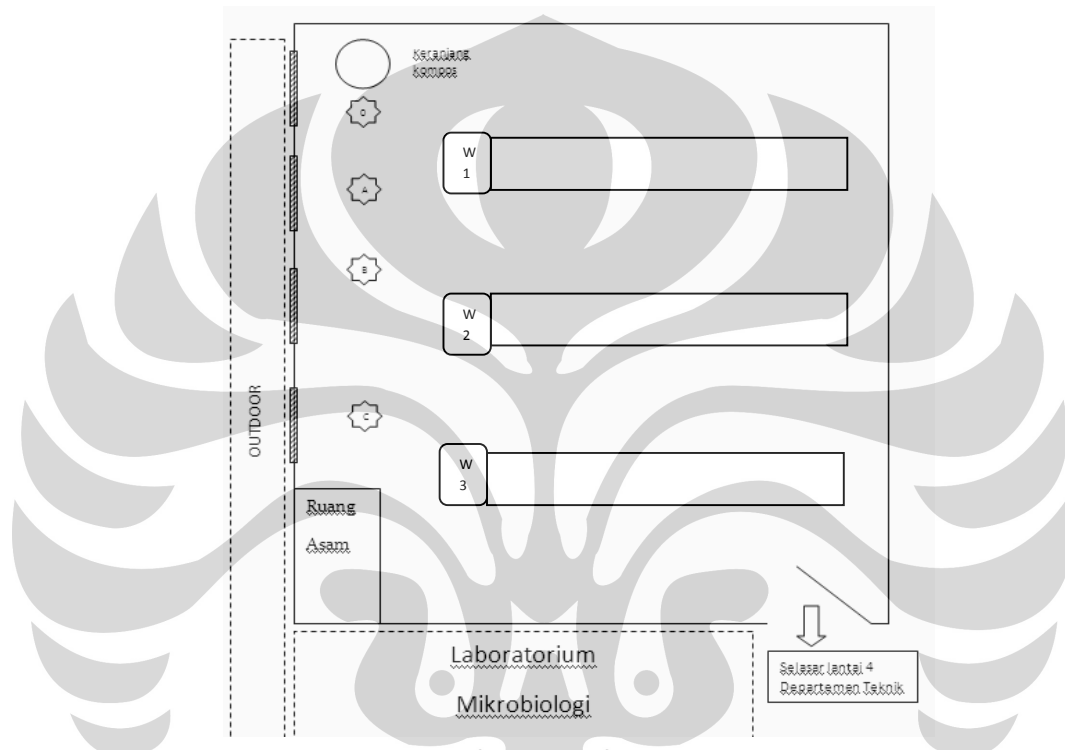


Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Konsentrasi Fungi

Gambar 4.7 di atas memperlihatkan bahwa konsentrasi bakteri tidak mengalami kenaikan atau penurunan sesuai dengan kenaikan dan penurunan kelembaban di lingkungan. Hal yang sama juga terlihat pada Gambar 4.8 dimana kelembaban tidak mempengaruhi konsentrasi Fungi. Hal ini menandakan bahwa konsentrasi

bakteri dan fungi pada pengomposan tidak terpengaruh secara langsung dengan nilai kelembaban di lingkungan.

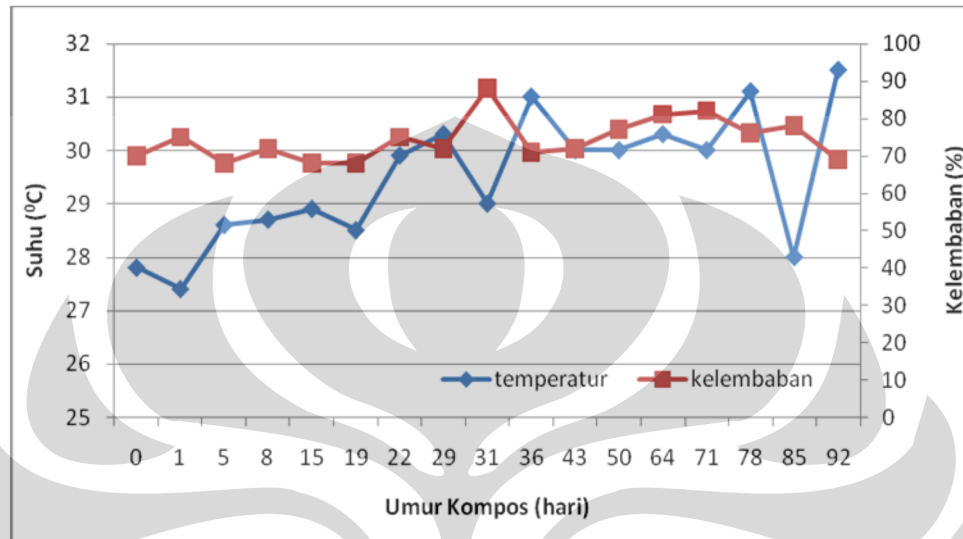
Hal yang mempengaruhi kelembaban di lingkungan adalah sumber kelembaban seperti tempat cuci tangan yang terdapat di lab, genangan dan kebocoran pada dinding atau atap. Pada laboratorium terdapat 3 tempat cuci tangan dan alat lab pada lokasi berikut



Gambar 4.9 Lokasi Wastafel Pada Ruangan

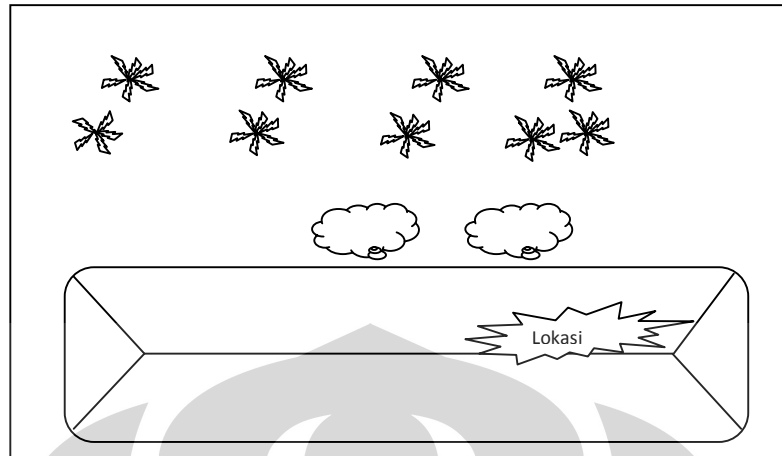
pada gambar, lokasi wastafel pada kotak bertuliskan W1, W2, dan W3. Wastafel digunakan untuk mencuci tangan dan peralatan laboratorium. Pada saat pengambilan sampel berlangsung, aktivitas yang berlangsung di dalam lab tidak ada. Hal ini agar tidak terganggunya konsentrasi bakteri dan fungi dengan aktivitas yang berlangsung. Akan tetapi, pada jam tidak dilakukannya pengambilan sampel atau hari lain, aktivitas penelitian berlangsung di lab sehingga wastafel digunakan. Penggunaan wastafel menambah kelembaban pada udara di dalam ruangan tersebut. Sementara kebocoran maupun genangan tidak ditemukan di dalam ruangan ini.

Suhu lingkungan juga berpengaruh terhadap kelembaban lingkungan. Grafik 4.10 di bawah ini menggambarkan hubungan kelembaban udara dengan suhu lingkungan pada ruangan ketika pengambilan sampel dilakukan.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kelembaban Lingkungan dengan Suhu Lingkungan

Grafik di atas menunjukkan bahwa kelembaban lingkungan akan naik ketika terjadi penurunan suhu. Kelembaban dalam ruangan berarti dipengaruhi oleh suhu lingkungan, dimana suhu yang tinggi akan menciptakan kelembaban yang rendah. Kelembaban juga dapat disebabkan oleh keberadaan vegetasi di sekitar bangunan. Vegetasi yang ada di sekitar bangunan secara tidak langsung dapat mempengaruhi konsentrasi bakteri dan fungi. Dengan adanya vegetasi yang berada di sekitar bangunan akan mengurangi pencahayaan ruangan, sehingga meningkatkan kelembaban dan secara tidak langsung meningkatkan konsentrasi bakteri dan fungi.

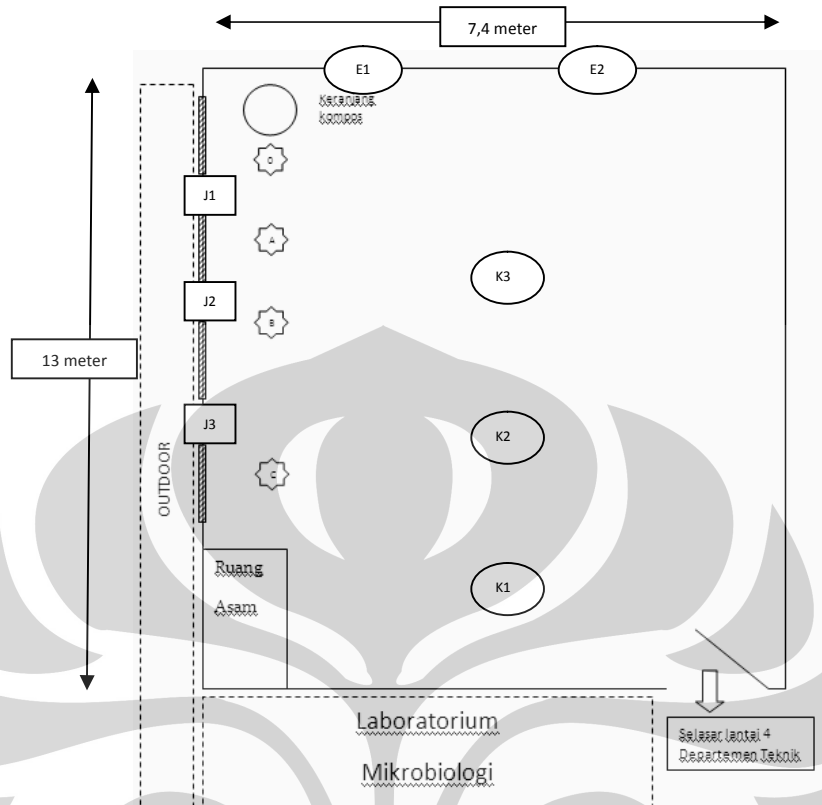


Gambar 4.11 Posisi Pepohonan Lokasi Outdoor

Gambar di atas menunjukkan letak vegetasi di area departemen teknik sipil berupa letak pohon yang berada di depan jendela laboratorium tempat pengomposan berlangsung. Secara ketinggian, pohon ini memiliki ketinggian lebih tinggi dari jendela, sehingga sedikit menghalangi masuknya sinar matahari ke ruangan. Hal ini berpengaruh pada pertumbuhan fungi, dimana fungi tumbuh dengan baik di habitat yang gelap dan lembab.

4.3.4 Ventilasi

Pelepasan mikroorganisme ke udara sekitar ketika dilakukan pengadukan terbukti dari pembahasan di atas dengan adanya perbedaan konsentrasi bakteri dan fungi terhadap jarak dan konsentrasi outdoor. Area dimana pengomposan berlangsung merupakan area tertutup berupa sebuah ruangan laboratorium, yang dilengkapi dengan sistem ventilasi seperti jendela dan *exhaust fan* serta kipas angin untuk sirkulasi udara.



Gambar 4.12 Ventilasi dan Letak Kipas Angin di Ruangan

Gambar diatas menjelaskan posisi dari tiap ventilasi dan kipas angin dalam ruangan Laboratorium tempat pengambilan sampel dan pengomposan dilakukan. Kondisi dari tiap jendela dan kipas antara lain:

Tabel 4.8 Kondisi Ventilasi di Ruangan Lab

Kode		Kondisi
J1	Jendela 1	Tertutup
J2	Jendela 2	Tertutup
J3	Jendela 3	Terbuka
E1	<i>Exhaust Fan 1</i>	Terbuka, tidak menyala
E2	<i>Exhaust Fan 2</i>	Terbuka, tidak menyala
K1	Kipas Angin 1	Tidak menyala
K2	Kipas Angin 2	Tidak menyala
K3	Kipas Angin 3	Tidak Menyala

Jendela dua dan tiga ditutup agar udara luar yang mempengaruhi konsentrasi dan distribusi bakteri serta fungi pada kompos berasal dari *exhaust fan* 1 dan 2, sehingga pergerakan distribusi bakteri dan fungi dapat diperkirakan bergerak lurus dari titik 0 meter (tempat keranjang kompos) menuju titik C (8 meter dari titik 0 meter). Dengan kondisi ini, bisa dilihat bagaimana pengaruh jarak terhadap konsentrasi bakteri dan fungi di dalam ruangan tanpa adanya pengaruh sirkulasi di dalam ruangan (karena kipas angin dimatikan). Nilai konsentrasi rata-rata bakteri dan fungi pada jarak 0 meter lebih tinggi dari nilai konsentrasi di jarak 4 meter yang menunjukkan adanya pengaruh dari sirkulasi udara di dalam ruangan.

Pada jarak 0 meter, nilai yang diperoleh mewakili nilai konsentrasi bakteri dan fungi yang terbawa ke udara dari tumpukan kompos, sehingga nilai yang diperoleh merupakan nilai tertinggi dari antara ke empat jarak pengambilan sampel. Sementara pada jarak 4 meter, konsentrasi bakteri dan fungi dari pengomposan tercampur dengan konsentrasi ruangan. Karena secara umum konsentrasi bakteri dan fungi di dalam ruangan lebih rendah dari konsentrasi bakteri dan fungi yang dihasilkan proses pengomposan, maka kondisi konsentrasi bakteri dan fungi pada titik tersebut akan lebih kecil dari konsentrasi di titik 0 meter dan lebih tinggi dari konsentrasi dalam ruangan atau titik lingkungan.

Pentingnya ventilasi bagi area pengomposan dikarenakan ventilasi dan kipas angin akan mengakibatkan adanya pergerakan dan sirkulasi udara di dalam area tersebut. Sirkulasi udara terjadi ketika udara luar memasuki ruangan dan menggantikan udara *indoor*, pergerakan udara ini akan mengakibatkan terjadinya distribusi konsentrasi bakteri dan fungi sehingga konsentrasi pencemar mikrobiologis di dalam ruangan menurun. Untuk lokasi tertutup, kondisi area pengomposan yang tertutup dapat mengurangi distribusi pencemar mikrobiologis ke udara luar. Akan tetapi kondisi tertutup ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi pencemar mikrobiologis seperti diungkapkan dalam penelitian Less *et al.*, 1987 bahwa konsentrasi fungi jenis *aspergillus fumigates* meningkat 11 kali ketika fasilitas pengomposan tertutup. Kondisi ini akan meningkatkan paparan pencemar mikrobiologis udara bagi pekerja atau individu yang berada di dalam ruangan tersebut. Resiko paparan terhadap pencemar mikrobiologis akan meningkat pada individu di dalam ruangan sehingga diperlukan perhatian khusus

mengenai perlindungan pekerja berupa pemakaian Alat Pelindung Diri (APD) seperti masker.

4.4 PERBANDINGAN KONSENTRASI BAKTERI DAN FUNGI DENGAN STANDAR

Data hasil penelitian konsentrasi bakteri dan fungi pada saat pengomposan dibandingkan dengan konsentrasi bakteri dan fungi dari aktivitas lain di tabel di bawah ini

Tabel 4.9 Konsentrasi Bakteri dan Fungi Berdasarkan Kegiatan

	Aktivitas	Kuantitas (CFU/m ³)	Referensi
fungi	Indoors (UK Home)	28-35.000	Swan <i>et al.</i> , 2003
	Gedung Perkuliahan K FTUI	409,89-1.883,39	Widyanareswari, 2010
	Grain Harvesting	10 ⁵ -10 ⁷	Swan <i>et al.</i> , 2003
	Cattle Sheds	10 ⁴ -10 ⁵	Swan <i>et al.</i> , 2003
	Textiles Mills	10 ⁵	Swan <i>et al.</i> , 2003
	Paper Mills	10 ²	Swan <i>et al.</i> , 2003
	Waste Collection	10 ⁴ -10 ⁵	Nielsen <i>et al.</i> , 1997
	Composting facility	10 ³ -10 ⁴	Wheeler <i>et al.</i> , 2001
	Pengomposan skala rumah tangga	4.382 (maksimum)	data penelitian, 2010
bakteri	Grain Harvesting	10 ⁷ -10 ⁸	Swan <i>et al.</i> , 2003
		303,88-1.773,85	Widyanareswari, 2010
	Cattle Sheds	10 ³ -10 ⁵	Swan <i>et al.</i> , 2003
	Textiles Mills	10 ⁵	Swan <i>et al.</i> , 2003
	Paper Mills	10 ⁴ -10 ⁶	Swan <i>et al.</i> , 2003
	Waste Collection	10 ³ -10 ⁴	Nielsen <i>et al.</i> , 1997
	Composting facility	10 ⁵ -10 ⁶	Wheeler <i>et al.</i> , 2001
	Pengomposan skala rumah tangga	5.954 (maksimum)	data penelitian, 2010

Dari tabel di atas nilai konsentrasi bakteri dan fungi pada pengomposan skala rumah tangga lebih kecil dari aktivitas lainnya, termasuk konsentrasi di fasilitas pengomposan. Hal ini dikarenakan pengomposan yang dilakukan merupakan kegiatan dalam skala kecil sehingga bakteri dan fungi yang dihasilkan lebih kecil dari aktivitas lain yang merupakan kegiatan dalam skala besar.

Perbandingan lainnya adalah antara konsentrasi bakteri dan fungi dengan standar konsentrasi pencemar mikrobiologi terkait efeknya pada kesehatan

manusia. Proses pengomposan yang berlangsung akan menambah konsentrasi bakteri dan fungi di udara sekitarnya, hal ini dapat mempengaruhi kesehatan individu yang berada di ruangan tersebut. Adapun jumlah konsentrasi yang di iijinkan sesuai dengan standar yang ada bisa dilihat di tabel di bawah ini.

Tabel 4.10 Perbandingan Konsentrasi Mikroorganisme dengan Standar

Batasan	Bakteri (CFU/m ³)	Fungi (CFU/m ³)	Referensi	Hasil Penelitian (CFU/m ³)		Keterangan
				Bakteri (max)	Fungi (max)	
Threshold values	1.000	-	Rylander <i>et al.</i> , 1980, 1983	5.954		Melewati
	-	5.000	Peterson & Vikstrom, 1984			Tidak melewati
Suggested Occupational Exposure Limit (OEL) 8 hr average	5-10.000	-	Sigsgaard, 1990	5.954		Berada dalam range
Health based OEL*	-	5 x 10 ⁴	Dutkiewitz, 1997		4.382	Tidak melewati
Nilai Maksimum direkomendasikan untuk pemukiman, sekolah dan kantor	<4.500	-	Finnish Ministry of Social Affaires and Health, 1997	5.954		Melewati
Provisional Dutch Guideline For Indoor Air In The Work Environment	10.000	-	Dutch Occupational Health Association NWA 1989.	5.954		Tidak melewati
Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri.	Angka Kuman = 700 koloni/ m ³		Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.1405/MEN KES/SK/XI/200 2	5.954	4.382	Melewati

Pada tabel di atas bisa dilihat bahwa konsentrasi maksimum bakteri yang diteliti melewati ambang batas untuk kesehatan. Hal ini berarti pada umur kompos dan jarak saat nilai maksimum ini terjadi, individu yang melakukan pengomposan harus berhati-hati dan memakai alat pelindung diri seperti masker untuk mengurangi paparan.

4.5 KAITAN HASIL PENELITIAN TERHADAP UU NO 18 TAHUN 2008

Pada UU No 18 tahun 2008 mengenai Pengelolaan Sampah disebutkan bahwa dalam pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga diperlukan pengurangan sampah dan penanganan sampah. Meski tidak tersebut secara langsung mengenai proses pengomposan dalam rumah tangga, kegiatan ini disebutkan dalam undang-undang sebagai pengolahan dalam bentuk mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah.

Dalam UU ini direkomendasikan kegiatan pengomposan untuk mengurangi timbulan sampah di rumah tangga. Hal ini bertujuan untuk mengurangi jumlah timbulan yang nantinya akan terkumpul di TPA dan TPS dari rumah tangga. Akan tetapi kurang adanya informasi mengenai tindakan pengomposan yang tepat dan resiko dari pengomposan itu sendiri. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengomposan yang berlangsung akan mempengaruhi konsentrasi pencemar mikrobiologis di udara berupa bakteri dan fungi. Literatur menyebutkan beberapa bakteri dan fungi dalam kompos yang dapat merusak kesehatan manusia terutama pada sistem pernafasan. Hal ini perlu diketahui dan diwaspadai dalam kegiatan pengomposan yang akan dilaksanakan. Pengetahuan seperti jarak aman untuk meletakkan keranjang kompos di rumah, hari-hari yang harus diwaspadai ketika konsentrasi bakteri dan fungi pada puncaknya dan pentingnya pemakaian alat pelindung diri seperti masker ketika pengadukan berlangsung akan membantu individu yang melakukan pengomposan di rumah tangga.

4.6 REKOMENDASI UNTUK MENURUNKAN RESIKO PAPARAN PENCEMAR UDARA MIKROBIOLOGIS

Proses pengomposan terutama pada saat pengadukan kompos akan meningkatkan konsentrasi pencemar mikrobiologis di udara. Hal ini akan menyebabkan timbulnya resiko kesehatan pada individu yang melakukan pengomposan atau beraktivitas di area sekitar komposter. Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk menurunkan resiko paparan pada pengomposan rumah tangga antara lain:

4.6.1 Letak Komposter

Lokasi penempatan komposter untuk pengomposan di rumah tangga perlu diperhatikan. Komposter sebaiknya diletakan di area terbuka seperti halaman rumah sehingga konsentrasi fungi dan bakteri dari kompos dapat terdispersi dengan udara sekitar. Pencampuran konsentrasi bakteri dan fungi dari kompos dengan udara luar ini akan menurunkan konsentrasi bakteri dan fungi di udara. Peletakan komposter juga harus melihat letak ventilasi seperti jendela dan pintu rumah. Posisi komposter lebih baik berada lebih dari jarak aman terhadap ventilasi rumah. Jarak aman yang disarankan adalah sejauh 4 meter dari komposter, yang merupakan jarak aman dimana konsentrasi bakteri dan fungi di udara ketika kompos diaduk menurun pada penelitian. Selain peletakan komposter, pemberian tutup pada komposter juga membantu agar mengurangi konsentrasi bakteri dan fungi yang terbawa oleh angin dan udara panas dari kompos ketika tidak diaduk.

4.6.2 Perlindungan Diri Individu yang Melakukan Pengomposan

Individu yang melakukan kegiatan seperti mengaduk kompos sebaiknya menggunakan alat pelindung diri seperti masker, sarung tangan dan pelindung mata. Hal ini perlu dilakukan untuk menurunkan resiko paparan bakteri dan fungi yang terdapat dalam kompos dan yang berada di udara akibat pengadukan.

4.6.3 Perlakuan Terhadap Kompos

Untuk menurunkan konsentrasi bakteri dan fungi dari kompos yang terbawa ke udara saat pengadukan terjadi, hal yang perlu dilakukan antara lain menambahkan air ke tumpukan kompos sebelum pengadukan dilakukan. Penambahan air ini akan meningkatkan kelembaban kompos dan membuat partikel bakteri dan fungi tidak terbawa ke udara. Pengadukan secara rutin juga mampu menurunkan tingkat resiko paparan terhadap bakteri dan patogen. Semakin sering dan rutin kompos diaduk akan mempercepat peningkatan suhu kompos. Kenaikan suhu ini akan membunuh mikroorganisme patogen dalam kompos.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dan analisis penelitian, maka diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Proses pengomposan meningkatkan konsentrasi bakteri dan fungi di udara
2. Umur kompos dan jarak dari komposter mempengaruhi konsentrasi bakteri dan fungi sementara nilai kelembaban di lingkungan dan material bangunan berpengaruh secara tidak langsung.
3. Konsentrasi tertinggi bakteri melewati konsentrasi standar kesehatan yang ada, sehingga perlu diperhatikan umur kompos dan jarak kompos ketika konsentrasi ini terjadi agar menghindari resiko paparan. Untuk mengurangi resiko paparan dapat dilakukan tindakan sebagai berikut :
 - Membuat adanya ventilasi yang baik di area pengomposan dilakukan
 - Menggunakan alat pelindung diri seperti masker, sarung tangan dan pelindung mata
 - Mengurangi aktivitas yang meningkatkan potensi paparan seperti mengaduk kompos dengan tangan (tanpa pelindung)
 - Meningkatkan kelembaban kompos
 - Meletakkan komposter sejauh jarak aman, yaitu 4 meter dari ventilasi rumah.

5.2 SARAN

1. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai konsentrasi bakteri dan fungi dengan jarak yang diperluas lagi dan dalam skala yang lebih besar.
2. Dalam hubungannya dengan efek kesehatan, penelitian dapat dikembangkan dengan adanya identifikasi dan isolasi jenis bakteri dan fungi tertentu sehingga dapat diketahui jenis dan jumlahnya.

3. Dorongan pemerintah untuk melakukan pengomposan sampah rumah tangga harus diikuti dengan pendidikan masyarakat mengenai resiko kesehatan akibat dilakukannya pengomposan disertai dengan pendidikan mengenai upaya untuk menurunkan resiko paparan.
4. Perlunya penggunaan alat pelindung diri seperti masker bagi orang yang melakukan pengomposan, dan peletakan komposter pada jarak aman.



DAFTAR PUSTAKA

- Ault, Steven K., & Michael Schott. *Aspergillus, Aspergillosis, and Composting Operations in California*. Technical Bulletin No. 1. California
- Baxter L. Jones, & John T. Cookson. (1983). Natural Atmospheric Microbial Conditions In A Typical Suburban Area. *Applied And Environmental Microbiology*. Maret , 919-934
- Crawford, J.H. (2003). "Composting of Agricultural Waste," *Biotechnology Applications and Research* (2009), 68-77.
- Deacon, J. (2004). *The Microbial World: Thermophilic Microorganisms*. Institute of Cell and Molecular Biology. The University of Edinburgh. Diakses 21 Maret 2010 <<http://helios.bto.ed.ac.uk/bto/microbes/thermo.htm>>
- Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, *Laporan Akhir Program Hibah Kompetisi Untuk Kegiatan tahun 2007-2009* (Depok: Departemen Teknik Sipil, 2009), hal. IV-1.
- Harrison, Ellen Z. (2007). *Health Impacts of Composting Air Emissions*. *Biocycle*:44-50
- Harrison, Ellen Z. (2007). *Compost Facilities: Off-Site Air Emissions and Health*. Cornell Waste Management Institute.
- Haug, Rogert T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering* (New York: Lewish Publisher).
- H. J. Kutzner. (2008). *Second Edition Of Biotechnology; Environmental Processes III - Solid Waste and Waste Gas Treatment, Drinking Water Preparation*. Ober-Ramstadt.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri. Menteri Kesehatan Republik Indonesia
- McNeel, Sandra, & Richard Kreutzer. (1999). *Bioaerosols and Green-Waste Composting in California*. California Department of Health Services Environmental Health Investigations Branch Oakland, California.
- Millner, P. (1995). Bioaerosols and Composting. *Biocycle* 36:48-54.
- Naylor, L. M. (1996). *Composting. Environmental and Science and Pollution* seri 18 69: 193-269
- Prasad, Munoo. (2005). *Bioaerosols and Composting, A Literature Evaluation*
- Portnoy, Jay M. *et al.* (2004). *Sampling for Indoor Fungi*. *J Allergy Clin Immunol*. February:189-198

- Recer, Gregg M. *et al.* (2001). *Ambient Air Levels of Aspergillus fumigatus and Thermophilic Actinomycetes in a Residential Neighborhood Near a Yard-Waste Composting Facility*. *Aerobiologia*. 17:99-108
- Reinthaler, Franz F. *et al.* (1997). *The Assessment of Airborne Microorganisms in Large-Scale Composting Facilities and Their Immediate Surroundings*. *Aerobiologia*. 13:167-175
- Setyorini, Diah *et.al.* (2006). Kompos. Diakses 15 April 2010, dari Departemen Pertanian.
<balittanah.litbang.deptan.go.id/dokumentasi/buku/pupuk/pupuk2.pdf.>
- Swan J.R.M., Crook, B., Kelsey A., Gilbert E.,J. (2003). *Occupational and Environmental Exposure to Bioaerosols from Composts and Potential Health Effects-A Critical Review of Published Data*. Prepared by The Composting Association and Health And Safety Laboratory for the Health and Safety Executive.
- Tchobanoglous G., Theisen H. dan Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management*, McGraw-Hill Inc, New York.
- Tsai, F.C., J.M Macher dan Y-Y Hung. (2002). *Concentrations of Airborne Bacteria in 100 U.S. Office Buildings*. Diakses 13 Februari 2010, dari United States Environmental Protection Agency.
<www.epa.gov/iaq/base/pdfs/base_4c1p5.pdf>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah
- Young, Chiu-Chung. *et al.* (2005). *What Happens during Composting?*. Diakses 23 Maret 2010 dari Food and Fertilizer Technology Center.
<<http://www.agnet.org/library/bc/53003/>>

Lampiran 1. Alat Penelitian

Pada lampiran ini diperlihatkan beberapa alat yang digunakan dalam penelitian, yaitu:

Alat	Keterangan	Alat	Keterangan
Autoclave		Keranjang kompos	
EMS E6 <i>Bioaerosol Sampler</i>		Inkubator 35 °C	
Cawan Petri		Sekop	

Lampiran 2. Data Penelitian

2.1 Data Penelitian Pengomposan

			Januari (CFU/2 menit)						Februari(CFU/2 menit)					Maret(CFU/2 menit)				April (CFU/2 menit)		
			12	13	14	18	21	25	27	1	8	10	15	22	8	15	22	29	5	
Jarak	0	B	1	56	38	130	25.5	-	64	167	145	48	47.5	144	101	89	29.5	71.5	43.5	
			2	57.5	43.7	155	43	33	53	149	-	-	-	193	-	69	44	84	46	
		F	1	80.5	52.7	125	103	40	93.5	121	70	78	78	139	101	66	45	56	-	
			2	85.5	109	123	134	49	87.5	72	31	-	-	-	104	56	-	84	-	
	2	B	1	61.5	81	72.5	58.5	32	65	54	53	27	27	71.5	73	61.5	27	56	33	
			2	62	88	69.5	19.5	34	61	39	29	35	35	93	47.5	59.5	20.5	59	46	
		F	1	109.5	108	88.5	87	36	80.5	-	41	26	26	77.5	89	55	29.5	61.5	57.5	
			2	71	118	92	83	37	111.5	63	61	-	-	-	130	53	58	-	71	
	4	B	1	42	39	83.5	78.5	28	52	41	44	37	36.5	80.5	62.5	51.5	19.5	56.5	30.5	
			2	65	40.3	68.5	43.5	26	46.5	17	-	-	-	-	63	17.5	51	28.5		
		F	1	71.5	64.7	88.5	65.5	36	73.5	51	52	23	23	68	77.5	28	17.5	57	36.5	
			2	75	72.7	86	70	33	76	-	81	21	21	68.5	85	44	-	58	53.5	
	8	B	1	36	-	42	-	17	-	32.5	12	5.5	35	34.5	13	11.5	-	7	32.5	36
			2	32	47.3	51.3	58.5	17.5	30	26	14	20	21	21	15.5	14	54	-	-	36.5
		F	1	32	61.7	37.3	63	35	33	66.5	27	25	30	29.5	20.5	9.5	26.5	4	36.5	61
			2	13	30.7	48.3	61.5	45.5	29	65.5	28	-	-	-	32	-	33.5	1.5	-	54

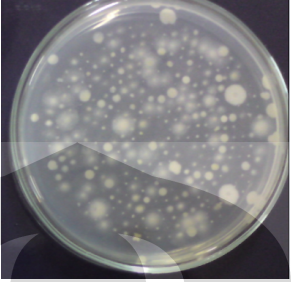
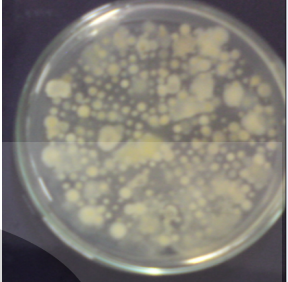

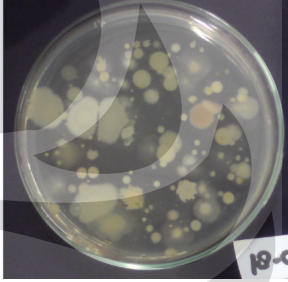


2.2 Data Penelitian Outdoor

Titik	Fungi (CFU/2 menit)	Bakteri (CFU/2 menit)
1	49	43
2	37	19

Lampiran 3. Data Suhu dan Kelembaban

Hari	Suhu Lingkungan (°C)	Kelembapan (%)
0	27.8	70
1	27.4	75
5	28.6	68
8	28.7	72
15	28.9	68
19	28.5	68
22	29.9	75
29	30.3	72
31	29	88
36	31	71
43	30	72
50	30	77
57	29.2	82
64	30.3	81
71	30	82
78	31.1	76
85	28	78
92	31.5	69
Rata-rata	29,5	74,7

Lampiran 4. Gambar-Gambar Hasil Penelitian

TANGGAL		FUNGI (PDA)	BAKTERI (TSA)
18 JANUARI 2010	0 METER		
	2 METER		
	4 METER		
	LINGKUNGAN	