

TUGAS AKHIR - RE184804

KAJIAN PENAMBAHAN OKSIGEN DAN PENGARUH FREKUENSI PENGADUKAN TERHADAP LAJU KEMATANGAN KOMPOS SAMPAH SISA MAKANAN

SAFRIZAL AMIR

NRP. 0321184000027

Dosen Pembimbing

I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19750212 199903 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2022



TUGAS AKHIR - RE184804

KAJIAN PENAMBAHAN OKSIGEN DAN PENGARUH FREKUENSI PENGADUKAN TERHADAP LAJU KEMATANGAN KOMPOS SAMPAH SISA MAKANAN

SAFRIZAL AMIR

NRP. 0311840000027

Dosen Pembimbing

I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19750212 199903 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - RE184804

STUDY AN ADDITION OF OXYGEN AND THE EFFECT OF MIXING FREQUENCY ON RATE OF MATURITY OF FOOD WASTE COMPOST

SAFRIZAL AMIR

NRP.0321184000027

Advisor

I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19750212 199903 2 001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN PENAMBAHAN OKSIGEN DAN PENGARUH FREKUENSI PENGADUKAN TERHADAP LAJU KEMATANGAN KOMPOS SAMPAH SISA MAKANAN


TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **SAFRIZAL AMIR**
NRP. 0321184000027


Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.
2. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.
3. Dr. Susi Agustina Wilujeng, S.T., M.T.
4. Deqi Rizkivia Radita, S.T., M.S.


Pembimbing


Penguji


Penguji


Penguji



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Safrizal Amir / 0321184000027

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing / NIP : I D A A Warmadewanthi, S.T, MT, Ph.D. /
19750212 199903 2 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Kajian Penambahan Oksigen dan Pengaruh Frekuensi Pengadukan terhadap Laju Kematangan Kompos Sampah Sisa Makanan" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 26 Juli 2022

Mahasiswa,

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.)

NIP. 19750212 199903 2 001



(Safrizal Amir)

NRP. 0321184000027

**KAJIAN PENAMBAHAN OKSIGEN DAN PENGARUH FREKUENSI
PENGADUKAN TERHADAP LAJU KEMATANGAN KOMPOS
SAMPAH SISA MAKANAN**

Nama Mahasiswa / NRP : Safrizal Amir / 03211840000027
Departemen : Teknik Lingkungan FT-SPK - ITS
Dosen Pembimbing : I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Indonesia merupakan penghasil sampah makanan terbesar kedua di dunia. Salah satu penyumbang sampah tersebut adalah kota Surabaya yang menghasilkan total timbulan sampah per hari mencapai 1500-1900 ton/hari dengan 55% adalah sampah organik yang mudah teruraikan, termasuk sampah sisa makanan. Pengomposan merupakan konsep pengolahan sampah sisa makanan yang mengedepankan konsep ekonomi dengan bergantung pada kecepatan serta aktivitas mikroba dalam mendekomposisi bahan organik. Teknologi pengomposan yang selama ini diterapkan ada dua cara yaitu dengan bantuan oksigen (aerobik) dan tanpa bantuan oksigen (anaerobik). Metode in-vessel composting, salah satu metode yang menggunakan sistem di dalam wadah yang dapat memproses sampah dalam jumlah besar tanpa menghabiskan banyak ruang dan dapat menampung hampir semua jenis sampah organik. Metode ini menghasilkan kompos hanya dalam beberapa minggu atau bulan yang dibantu dengan pengadukan untuk memastikan teraduk rata. Pengadukan dan konsentrasi oksigen merupakan faktor yang mempengaruhi proses pengomposan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan oksigen dan frekuensi pengadukan serta mengidentifikasi kualitas kompos yang dihasilkan.

Objek pada penelitian ini adalah pengomposan sampah makanan dari rumah makan di sekitar ITS. Variabel yang digunakan yakni penambahan oksigen dan frekuensi pengadukan. Variasi yang digunakan yaitu reaktor 1 tanpa penambahan oksigen dan pengadukan, reaktor 2 penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali, reaktor 3 penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali. Parameter yang akan diukur antara lain kadar air, kadar total N, kadar C-organik, suhu, pH, konsentrasi gas, kelimpahan mikroorganisme dan tinggi tumpukan. Indikator keberhasilan akan diukur berdasarkan parameter lamanya waktu pengomposan menjadi lebih singkat dan kualitas kompos yang dihasilkan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7030-2004.

Hasil dari penelitian ini adalah jika ditinjau dari penambahan oksigen dan pengadukan, kematangan kompos yang baik adalah reaktor 3 dengan penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali. Apabila ditinjau dari kelimpahan mikroorganisme dengan metode TPC. Kelimpahan mikroorganisme yang dihasilkan reaktor 3 lebih banyak dibandingkan yang lain. Kelimpahan mikroorganisme terbesar pada hari ke-20 bagian tengah sebesar 298×10^5 CFU/gram. Apabila ditinjau dari kualitas kompos kualitas kompos yang paling baik adalah reaktor 3. Hasil yang diperoleh untuk semua bagian yaitu kadar air berkisar antara 75,3%-78%, suhu berkisar antara 34°C-36°C; pH berkisar antara 5,5-6,5; karbon berkisar antara 54,55%-54,75%; nitrogen berkisar antara 1,89%-1,91%; dan rasio C/N berkisar antara 28,58-28,93.

Kata Kunci : Frekuensi Pengadukan, *In-Vessel Composting*, Kualitas Kompos, Penambahan Oksigen, Sampah Sisa Makanan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY AN ADDITION OF OXYGEN AND THE EFFECT OF MIXING FREQUENCY ON RATE OF MATURITY OF FOOD WASTE COMPOST

Student Name / NRP : Safrizal Amir / 03211840000027
Department : Teknik Lingkungan FT-SPK - ITS
Advisor : I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph D.

Abstract

Indonesia is the second-largest producer of food waste in the world. One of the contributors to this waste is the city of Surabaya, which produces a total daily waste generation of 1500-1900 tons/day with 55% being organic waste that is easily biodegradable, including food waste. Composting is a concept of processing food waste that prioritizes economic concepts by depending on the speed and activity of microbes in decomposing organic matter. There are two methods of composting technology, namely with the help of oxygen (aerobic) and without the help of oxygen (anaerobic). The in-vessel composting method is a method that uses a system in a container that can process large amounts of waste without taking up much space and can accommodate almost all types of organic waste. This method produces compost in just a few weeks or months assisted by stirring to ensure that it is thoroughly mixed. Stirring and oxygen concentration are factors that affect the composting process. This study aims to examine the effect of adding oxygen and stirring frequency and to identify the quality of the compost produced.

The object of this research is the composting of food waste from restaurants around ITS. The variables used are the addition of oxygen and the frequency of stirring. The variations used are reactor 1 without the addition of oxygen and stirring, reactor 2 adding oxygen at 1 L air/minute.kg and stirring every 5 days, reactor 3 adding oxygen at 1.5 L air/minute.kg and stirring every 10 days. Parameters to be measured include water content, total N content, C-organic content, temperature, pH, gas concentration, an abundance of microorganisms, and pile height. The success indicator will be measured based on the parameters of the shorter composting time and the quality of the compost produced by the Indonesian National Standard (SNI) 19-7030-2004.

The result of this research is that when viewed from the addition of oxygen and stirring, a good compost maturity is reactor 3 with the addition of oxygen of 1.5 L air/minute.kg and stirring once every 10 days. When viewed from the abundance of microorganisms by the TPC method. The abundance of microorganisms produced by reactor 3 was more than the others. The largest abundance of microorganisms on the 20th day of the middle part was 298×10^5 CFU/gram. When viewed from the quality of compost the best compost quality was reactor 3. The results obtained for all parts, namely the water content ranged from 75.3%-78%, the temperature ranged from between 34°C-36°C; pH ranges from 5.5 to 6.5; carbon ranged from 54.55%-54.75%; nitrogen ranged from 1.89%-1.91%, and the C/N ratio ranged from 28.58-28.93.

Keywords : *Compost Quality, Food Waste, In-Vessel Composting, Mixing Frequency, Oxygen Addition.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul “Kajian Penambahan Oksigen dan Frekuensi Pengadukan terhadap Laju Kematangan Kompos Sampah Sisa Makanan” dapat terselesaikan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada ;

1. I D A A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberi masukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.S.E., M.Sc., Ph.D., Dr. Susi Agustina Wilujeng, S.T., M.T. dan Deqi Rizkivia Radita, S.T., M.S., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam laporan tugas akhir ini.
3. Orang tua dan keluarga lainnya yang telah memberikan motivasi selama menjalankan perkuliahan ini.
4. Teman-teman Angkatan 2018 yang telah memberikan dorongan semangat selama perkuliahan ini.
5. Seluruh pihak secara langsung maupun tidak langsung yang membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Dan dapat memberikan referensi terkait pengomposan sampah sisa makanan. Tidak dapat dipungkiri dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat kekurangan. Saran yang membangun dari pembaca sangat dibutuhkan dalam penyempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 26 Juli 2022

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Sampah.....	3
2.1.1 Definisi Sampah	3
2.1.2 Klasifikasi Sampah berdasarkan Sumbernya	3
2.1.3 Klasifikasi Sampah berdasarkan Jenisnya.....	4
2.2 Sampah Sisa Makanan	4
2.3 Pengolahan Sampah Sisa Makanan	4
2.3.1 Pengomposan Aerobik	5
2.3.2 Pengomposan Anaerobik.....	5
2.4 Teknologi Pengomposan.....	5
2.5 Kompos dan Pengomposan.....	6
2.5.1 Proses Pengomposan	6
2.5.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengomposan	7
2.5.3 Kualitas Kompos	9
BAB III METODOLOGI	11
3.1 Gambaran Umum Penelitian.....	11
3.2 Kerangka Penelitian	11
3.3 Tahapan Penelitian.....	14
3.3.1 Studi Literatur	14
3.3.2 Persiapan Penelitian	14
3.3.3 Penelitian Pendahuluan	15
3.3.4 Variabel Penelitian	16
3.3.5 Pelaksanaan Penelitian	17
3.3.6 Pengumpulan Data	19
3.3.7 Analisis dan Pembahasan	22
3.3.8 Kesimpulan dan Saran.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Umum	23
4.2 Pengaruh Penambahan Oksigen dan Keefektifan Frekuensi Pengadukan terhadap Laju Kematangan Kompos	23
4.2.1 Perubahan Kadar Air Tumpukan Kompos	24
4.2.2 Perubahan Suhu Tumpukan Kompos	26
4.2.3 Perubahan pH Tumpukan Kompos	29
4.2.4 Perubahan Tinggi Tumpukan Kompos	32
4.2.5 Perubahan Rasio C/N Tumpukan Kompos	34

4.2.6	Perubahan Konsentrasi Gas CO Tumpukan Kompos.....	37
4.3	Kelimpahan Mikroorganisme dengan Metode Total Plate Count (TPC).....	40
4.4	Kualitas Akhir Kompos.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN A.....		53
LAMPIRAN B		57
LAMPIRAN C		59
LAMPIRAN D.....		65
LAMPIRAN E		69
BIOGRAFI PENULIS		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	13
Gambar 3.2 Reaktor Penelitian.....	14
Gambar 3.3 Grafik Komposisi Sampah Sisa Makanan	16
Gambar 3.4 Pengambilan Sampah Sisa Makanan	17
Gambar 3.5 Pemilahan Sampah Sisa Makanan	18
Gambar 3.6 Pencacahan Sampah Sisa Makanan	18
Gambar 3.7 Moisture Meter	19
Gambar 3.8 Soil Tester	20
Gambar 3.9 Gas Detector	21
Gambar 4.1 Grafik Perubahan Kadar Air Reaktor 1	24
Gambar 4.2 Grafik Perubahan Kadar Air Reaktor 2	25
Gambar 4.3 Grafik Perubahan Kadar Air Reaktor 3	26
Gambar 4.4 Grafik Perubahan Suhu Reaktor 1	27
Gambar 4.5 Grafik Perubahan Suhu Reaktor 2	28
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Suhu Reaktor 3	29
Gambar 4.7 Grafik Perubahan pH Reaktor 1	30
Gambar 4.8 Grafik Perubahan pH Reaktor 2	31
Gambar 4.9 Grafik Perubahan pH Reaktor 3	32
Gambar 4.10 Grafik Perubahan Tinggi Tumpukan Setiap Reaktor	32
Gambar 4.11 Grafik Perubahan Tinggi Tumpukan Reaktor 1	33
Gambar 4.12 Grafik Perubahan Tinggi Tumpukan Reaktor 2	34
Gambar 4.13 Grafik Perubahan Tinggi Tumpukan Reaktor 3	34
Gambar 4.14 Grafik Perubahan Rasio C/N Reaktor 1.....	35
Gambar 4.15 Grafik Perubahan Rasio C/N Reaktor 2.....	36
Gambar 4.16 Grafik Perubahan Rasio C/N Reaktor 3.....	37
Gambar 4.17 Grafik Perubahan CO Reaktor 1	38
Gambar 4.18 Grafik Perubahan CO Reaktor 2.....	39
Gambar 4.19 Grafik Perubahan CO Reaktor 3.....	39
Gambar 4.20 Kelimpahan Mikroorganisme Reaktor 1, 2, dan 3 Bagian Atas.....	41
Gambar 4.21 Kelimpahan Mikroorganisme Reaktor 1, 2, dan 3 Bagian Tengah	42
Gambar 4.22 Kelimpahan Mikroorganisme Reaktor 1, 2, dan 3 Bagian Bawah	43
Gambar 4.23 Kelimpahan Mikroorganisme Reaktor 3	43
Gambar 4.24 Analisis TPC Reaktor 3	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Sampah Sisa Makanan.....	5
Tabel 2.2 Perbedaan Teknologi Pengomposan	6
Tabel 2.3 Mikroorganisme dalam Proses Pengomposan.....	7
Tabel 2.4 Tipikal Temperatur untuk Beberapa Jenis Bakteri	8
Tabel 2.5 Standar Kualitas Kompos	9
Tabel 3.1 Karakteristik Awal Bahan Pengomposan.....	15
Tabel 3.2 Komposisi Sampah Sisa Makanan	16
Tabel 3.3 Variabel Penelitian	17
Tabel 3.4 Metode Analisis Parameter.....	21
Tabel 4.1 Kualitas Akhir Kompos.....	45

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

The Economic Intelligence Unit (2019) melaporkan bahwa Indonesia merupakan “penghasil sampah makanan terbesar di dunia setelah Saudi Arabia yakni peringkat kedua.” Sampah berasal dari masyarakat dan aktivitas di lingkungan perkotaan terutama didominasi oleh sampah sisa makanan. Surabaya, kota terbesar kedua di Indonesia, juga mengalami kondisi yang sama. Total timbulan sampah yang dihasilkan mencapai 1500-1900 ton/hari. Total tersebut 55% adalah sampah organik yang mudah terurai, termasuk sampah sisa makanan (Dhokhikah *et al.*, 2015). Rumah tangga adalah salah satu penghasil sampah sisa makanan. Selain itu juga dihasilkan dari warung, restoran, pasar atau sumber sejenis sampah rumah tangga lainnya. Sampah sisa makanan dapat dimanfaatkan sebagai material kompos. Hal ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber *nutrient* untuk tanaman pangan, dengan konsep dari “pangan untuk pangan”.

Metode terbaik dalam mengolah sampah sisa makanan adalah metode pengomposan (Awasthi *et al.*, 2020). Slorach *et al.* (2019), menyatakan bahwa metode pengomposan sudah banyak dikembangkan serta termasuk dalam salah satu konsep pengolahan yang mengedepankan konsep ekonomi. dengan adanya material kompos yang dihasilkan dimanfaatkan kembali sebagai material yang membantu menyuburkan tanaman sangat berguna bagi tanaman pangan. Kecepatan proses pengomposan itu sendiri bergantung pada kecepatan serta aktivitas mikroba dalam mendekomposisi bahan organik. Faktor yang mempengaruhi proses pengomposan tersebut adalah kadar air, konsentrasi oksigen, rasio C/N, dan mikroba yang mendekomposisi (Awasthi *et al.*, 2020). Banyak penelitian yang sudah dilaksanakan untuk proses pengomposan dari sampah sisa makanan, namun beberapa tantangan proses memerlukan lanjutan penelitian adalah porositas dari sampah makanan kecil, rasio C/N rendah, kadar air sangat tinggi, proses hidrolisis pada degradasi sampah makanan terjadi cukup cepat sehingga terjadi proses adifikasi yang akan menurunkan kadar pH dan menghambat kinerja mikroorganisme (Wang *et al.*, 2016). Beberapa bahan aditif diperlukan untuk mempercepat proses komposting seperti penambahan mikroorganisme (Voběrková *et al.*, 2017), *bulking agents* (jerami, dedaunan, serbuk gergaji), natural mineral (*zeolite*, *chalcedony*, *kalsium*), biochar diproduksi dari sisa biomassa (Malinska *et al.*, 2014). Proses pengomposan dari sampah sisa makanan ini juga menghasilkan lindi atau leachate yang dengan konsentrasi lemak yang tinggi. *Leachate* ini harus diolah dan dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel (Heo *et al.*, 2011, Kim *et al.*, 2010).

Teknologi pengomposan dapat dibagi menjadi 2 yaitu metode *in-vessel* dan *windrow*. *In-vessel composting* adalah sistem pengomposan dalam wadah yang menghasilkan kompos dalam beberapa minggu atau bulan. Sedangkan, *windrow composting* adalah sistem dengan membentuk tumpukan di tempat terbuka (U.S. EPA, 2021).

Objek pada penelitian ini adalah pengomposan sampah makanan dari rumah makan di sekitar ITS. Penelitian akan berkaitan dengan proses pengomposan termasuk kualitas kompos yang dihasilkan. Parameter yang akan diukur antara lain kadar air, kadar total N, kadar C-organik, suhu, pH, konsentrasi gas, kelimpahan mikroorganisme dan tinggi tumpukan. Pengukuran dilakukan dari awal hingga akhir termasuk dampak ketika dilakukan pengadukan, penambahan oksigen dan pemberian oksigen agar dapat memberikan gambaran lebih baik terhadap kondisi selama proses pengomposan. Pengambilan sampel akan dilakukan pada beberapa titik dalam tumpukan. Indikator keberhasilan akan diukur berdasarkan parameter lamanya waktu pengomposan menjadi lebih singkat dan kualitas kompos yang dihasilkan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7030-2004.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh penambahan oksigen dan keefektifan frekuensi pengadukan terhadap laju kematangan kompos untuk jenis sampah sisa makanan dengan menggunakan pengomposan *in-vessel*?
2. Bagaimana kelimpahan mikroorganisme pada proses pengomposan *in-vessel* untuk jenis sampah sisa makanan?
3. Bagaimana kualitas kompos yang dihasilkan dari proses pengomposan *in-vessel* untuk jenis sampah sisa makanan?

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang ada, terdapat beberapa tujuan yang mendasari penelitian ini, yaitu:

1. Mengkaji pengaruh penambahan oksigen dan keefektifan frekuensi pengadukan terhadap laju kematangan kompos untuk jenis sampah sisa makanan dengan menggunakan pengomposan *in-vessel*.
2. Menganalisis kelimpahan mikroorganisme pada proses *pengomposan in-vessel* untuk jenis sampah sisa makanan.
3. Mengidentifikasi kualitas kompos yang dihasilkan proses pengomposan *in-vessel* untuk jenis sampah sisa makanan.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup bertujuan untuk membatasi masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini. Beberapa lingkup pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Maret – Mei 2020.
2. Penelitian ini dilaksanakan di workshop dan laboratorium Teknik Lingkungan ITS.
3. Sampah yang akan digunakan dalam pengomposan adalah sampah sisa makanan yang didapatkan dari rumah makan di daerah sekitar ITS.
4. Metode pengomposan yang dilakukan adalah *in-vessel composting*, pengomposan aerobik secara aktif dengan penambahan oksigen.
5. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi penambahan oksigen dan variasi frekuensi pengadukan.
6. Parameter yang digunakan untuk menguji kualitas kompos terdiri dari karakteristik sampah, kadar air, suhu, pH, kadar C-organik, kadar total N, rasio C/N, konsentrasi gas CO, dan kelimpahan mikroorganisme.
7. Reaktor yang digunakan berbentuk tong plastik sejumlah 3 buah yang dilengkapi dengan lubang udara, lubang pengambilan sampel, dan bagian bawah terdapat lubang untuk mengeluarkan lindi.
8. Lama pengomposan sampai mencapai kematangan pengomposan.
9. Kualitas kompos dinilai berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7030-2004.

1.5 Manfaat

Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengomposan sampah sisa makanan yang dihasilkan oleh rumah makan sebagai upaya mengatasi permasalahan timbulan sampah sisa makanan. Selain itu, dapat memberikan informasi terkait penambahan oksigen yang dibutuhkan dan keefektifan frekuensi pengadukan untuk mempercepat kematangan kompos yang sesuai dengan peraturan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah

2.1.1 Definisi Sampah

Sampah adalah segala buangan yang timbul diakibatkan oleh kegiatan manusia dan hewan, biasanya berbentuk padatan yang dianggap tidak berguna (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Sedangkan, menurut American Public Health Association (APHA), sampah adalah sesuatu yang tidak dapat digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi, atau sesuatu yang terbuang, berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya.

2.1.2 Klasifikasi Sampah berdasarkan Sumbernya

Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) sumber sampah dapat diklasifikasikan berdasarkan aktivitasnya, yaitu:

- **Pemukiman**
Aktivitas yang terdapat pada area ini adalah kegiatan rumah tangga, sehingga timbulan sampah didominasi oleh sampah basah dari dapur dan sampah kering dari kegiatan rumah tangga lainnya seperti pembungkus kertas. Sebagian dari area ini digunakan sebagai tempat tinggal, berupa perkampungan, perumahan, asrama dan/atau apartemen.
- **Komersial**
Aktivitas yang terdapat pada area ini adalah kegiatan ekonomi yang memiliki fasilitas-fasilitas seperti pertokoan, restoran, pasar, perkantoran, penginapan, jasa pelayanan, dan sebagainya. Timbulan sampah sangat bervariasi macamnya, tergantung dari jenis kegiatan atau fasilitas.
- **Institusional**
Aktivitas yang terdapat pada area ini adalah kegiatan akademis/non akademis, pemerintahan, dan pelayanan kesehatan. Timbulan sampah sama halnya dengan area komersial tergantung dari jenis kegiatan atau fasilitas. Namun untuk sampah medis yang berasal dari fasilitas kesehatan, harus ditangani secara terpisah, karena dikhawatirkan dapat menyebarkan penyakit dan membahayakan lingkungan.
- **Industri**
Area yang digunakan sebagai tempat berlangsungnya kegiatan produksi kebutuhan-kebutuhan manusia. Timbulan sampah yang dihasilkan tergantung pada Jenis industrinya.
- **Sarana Umum**
Aktivitas yang terdapat pada area ini adalah kegiatan pembersihan jalan, pembersihan lapangan atau taman, dan pembersihan area rekreasi. Timbulan sampah di area ini didominasi oleh sampah kering berupa sampah jalan, sampah lapangan terbuka, dan sampah spesial lainnya yang berasal dari kegiatan sarana umum.
- **Pertanian**
Aktivitas yang terdapat pada area ini adalah kegiatan pertanian yang meliputi perkebunan, kehutanan, perikanan, dan peternakan. Sampah yang dihasilkan didominasi oleh sampah pertanian, tetapi perlu diperhatikan adanya limbah B3 yang dihasilkan dari kegiatan pertanian.
- **Pembangunan dan Pembongkaran**
Aktivitas yang terdapat pada area ini adalah kegiatan pembangunan, renovasi atau penghancuran suatu konstruksi. Timbulan sampah yang dihasilkan pada area ini didominasi dengan sampah berupa puing-puing bangunan, sisa-sisa kayu, beton, pasir, dan beton.
- **Pengelolaan Air atau Limbah**

Aktivitas yang terdapat pada area ini adalah kegiatan pengolahan air limbah domestik, penjernihan air baku, pengolahan akhir sampah, pengolahan industri. Timbulan sampah yang dihasilkan pada area ini berupa sampah khusus, seperti sisa-sisa bahan yang digunakan untuk pengolahan atau lumpur hasil pengolahan.

2.1.3 Klasifikasi Sampah berdasarkan Jenisnya

Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (2000) penggolongan sampah berdasarkan jenisnya diklasifikasikan sebagai berikut:

- **Sampah Basah**
Sampah yang dihasilkan dari penyiapan dan pemasakan makanan, pasar, hasil penanganan, penyimpanan, dan penjualan produk. Atau sisa makanan yang telah membusuk, tetapi masih bisa dipakai sebagai makanan bagi mikroorganisme. Sumber sampah ini biasanya berasal dari rumah tangga, rumah makan, institusi, toko, dan pasar.
- **Sampah Kering**
Sampah ini dapat dibagi menjadi dua golongan. Golongan pertama adalah sampah yang mudah terbakar (*combustible*) seperti karton, kertas, plastik, tekstil, karet, mebel, dan kayu. Golongan kedua adalah sampah yang tidak mudah terbakar (*Non-combustible*) seperti logam, kaca, kawat, kaleng, dan sampah dari kegiatan konstruksi.
- **Sampah Lembut (Debu/Abu)**
Sampah yang merupakan hasil pembakaran dari proses insinerasi bisa disebut dengan residu. Sampah ini berbentuk kecil-kecil, lembut, dan ringan sehingga mudah terbang dan dapat mengganggu saluran pernapasan dan mata.
- **Sampah Jalan**
Sampah yang merupakan buangan dari jalan raya dan daerah trotoar seperti daun-daunan, sisa pembungkus makanan, kertas, dan sebagainya.
- **Sampah Hewan**
Sampah yang berasal dari bangkai binatang seperti hewan peliharaan atau hewan liar. Sumber sampah ini biasanya ditemukan di jalan raya dan pemukiman.
- **Sampah Industri**
Sampah yang dihasilkan dari kegiatan industri dimana jenis sampah ini biasanya lebih homogen dibandingkan dengan jenis sampah lainnya.
- **Sampah Khusus**
Sampah yang dihasilkan dari buangan B3 (cair, padat, gas, dan debu) yang bersifat mudah meledak, patogen, radioaktif, dan lainnya. Sumber sampah ini biasanya berasal dari rumah sakit.

2.2 Sampah Sisa Makanan

Dalam pengelolaan sampah sisa makanan diperlukan suatu sistem atau teknologi tepat guna untuk menanggulangi permasalahan ini. Salah satu cara yang efektif dan efisien yaitu dengan cara pengomposan. Teknologi pengomposan yang selama ini diterapkan ada dua cara yaitu dengan bantuan oksigen (aerobik) dan tanpa bantuan oksigen (anaerobik) (Yenie dan Komalasari, 2011).

2.3 Pengolahan Sampah Sisa Makanan

Sampah sisa makanan merupakan bagian yang tidak dimakan oleh manusia atau dibuang, rusak, dan hilang (Bond *et al.*, 2013). Permasalahan sampah sisa makanan menjadi isu di berbagai negara karena dampak yang ditimbulkan. Center for Indonesian Medical Students (2020), menyebutkan dampak sampah makanan bagi lingkungan yaitu sampah makanan dapat menghasilkan gas metana yang berdampak pada pemanasan global, bencana

ledakan sampah, dan pencemaran air karena adanya air lindi yang dihasilkan. Sampah makanan terjadi pada tingkat distribusi maupun konsumsi. Gustavsson *et al.* (2011), menyatakan bahwa sebanyak 1,3 miliar ton bahan makanan yang layak konsumsi terbuang dalam rantai pasokan makanan.

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, melaporkan bahwa sampah sisa makanan pada tahun 2017 – 2018 mencapai 93%. Salah satu sumber penghasil sampah sisa makanan adalah rumah makan yang setiap hari menyediakan makanan dan memicu timbulnya sampah. Komposisi utama sampah sisa makanan adalah protein, karbohidrat, lemak, dan sisa senyawa organik (Pandey *et al.*, 2019). Adapun karakteristik sampah sisa makanan tergantung dari sumbernya. **Tabel 2.1** berikut menggambarkan karakteristik sampah sisa makanan yang dihasilkan oleh kantin di salah satu kampus di Surabaya.

Tabel 2.1 Karakteristik Sampah Sisa Makanan

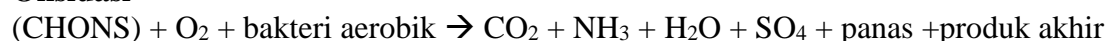
Karakteristik	Nilai
Total Solid (TS)	30%-35%
Volatile Solid	30%-34%
Kadar Air	65%
Rasio C/N	17,3

Sumber: Riadi *et al.*, 2020

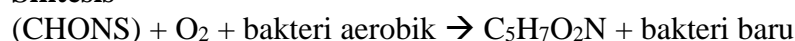
2.3.1 Pengomposan Aerobik

Polprasert (1989), menyatakan bahwa pengomposan aerobik adalah dekomposisi bahan organik dengan adanya oksigen yang menghasilkan produk CO₂, NH₃, H₂O, dan panas. Kondisi ideal proses ini membutuhkan waktu 10-30 hari. Hal ini mengindikasikan proses dekomposisi berjalan cepat dan energi yang dilepaskan dalam bentuk panas dari proses oksidasi karbon organik menjadi CO₂. Tchobanoglous *et al.* (1993), menyatakan bahwa secara umum transformasi sampah pada proses aerobik dapat digambarkan sebagai berikut.

Oksidasi



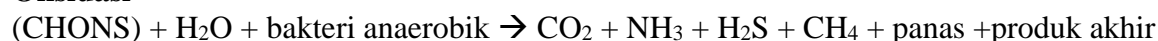
Sintesis



2.3.2 Pengomposan Anaerobik

Pengomposan anaerobik sebaliknya dari pengomposan aerobik yaitu dekomposisi bahan organik tanpa adanya oksigen dan menghasilkan produk akhir berupa CH₄, CO₂, NH₃, asam-asam organik, dan gas-gas lain dalam jumlah sedikit. Proses ini berlangsung cukup lama yakni 45-100 hari. Hal ini mengindikasikan dekomposisi berjalan lambat dan temperatur rendah, serta memproduksi bau yang dihasilkan dari proses *intermediate* (Polprasert, 1989). Tchobanoglous *et al.* (1993), menyatakan bahwa secara umum transformasi sampah pada proses anaerobik dapat digambarkan sebagai berikut.

Oksidasi



Sintesis



2.4 Teknologi Pengomposan

Jenis teknologi pengomposan dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu *in-vessel composting* dan *windrow composting*. Pengomposan dengan metode *in-vessel* umumnya

mengacu pada sistem pengomposan di dalam wadah yang dapat memproses sampah dalam jumlah besar tanpa menghabiskan banyak ruang dan dapat menampung hampir semua jenis sampah organik misalnya, daging, kotoran hewan, biosolid, dan sisa makanan. Sampah organik diputar dan dicampur secara mekanis untuk memastikan teraduk rata. Metode ini menghasilkan kompos hanya dalam beberapa minggu atau bulan hingga siap digunakan karena aktivitas mikroba perlu dan tumpukan perlu didinginkan (U.S. EPA, 2021). Pengomposan dengan metode windrow melibatkan pembentukan sampah organik menjadi barisan tumpukan panjang dan dianginkan secara berkala dengan memutar tumpukan secara manual atau mekanis. Tinggi tumpukan yang ideal adalah antara empat sampai delapan kaki dengan lebar 14 hingga 16 kaki. Tumpukan ukuran ini cukup besar untuk menghasilkan panas yang cukup dan mempertahankan suhu. Hal ini cukup kecil untuk memungkinkan aliran oksigen ke inti windrow (U.S. EPA, 2021). Perbedaan dari kedua teknologi pengomposan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Perbedaan Teknologi Pengomposan

<i>In-Vessel Composting</i>	<i>Windrow Composting</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Tidak membutuhkan lahan yang luas - Kontrol yang baik - Memungkinkan penggunaan metode sepanjang tahun - Sangat sedikit bau - Lindi yang dihasilkan sedikit - Membutuhkan biaya yang tidak sedikit - Memerlukan keahlian teknis untuk mengoperasikannya - Membutuhkan tenaga kerja yang sedikit 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan lahan yang luas - Membutuhkan peralatan yang kokoh - Pemeliharaan yang harus terus menerus untuk mengoperasikan fasilitas - Dalam iklim yang hangat dan gersang, perlu ditutup untuk mencegah air menguap - Dalam musim hujan perlu disesuaikan supaya air tidak meresap ke dalam tumpukan - Bau yang tidak sedap dari lindi yang dihasilkan dan dapat mencemari lingkungan

Sumber : U.S. EPA, 2021

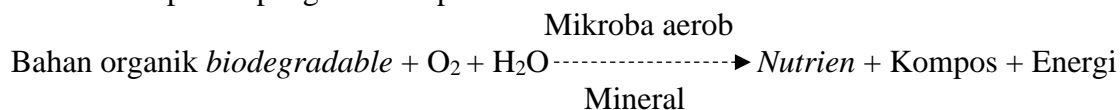
2.5 Kompos dan Pengomposan

Kompos adalah pupuk organik yang mengandung unsur N, P, dan K yang dibutuhkan oleh tanaman tidak terlalu tinggi. Namun kompos sangat banyak mengandung unsur hara mikro yang berfungsi meningkatkan porositas tanah sehingga menjadi gembur dan lebih lama menyimpan air dan membantu memperbaiki struktur tanah (Tchobanoglous, 1993). Sedangkan, pengomposan merupakan proses dekomposisi dan stabilisasi substrat organik dengan diikuti kenaikan suhu yang diakibatkan dari panas yang dihasilkan, hasil akhir yang cukup stabil dan pengaplikasian yang tidak merugikan lingkungan (Polprasert, 1989).

2.5.1 Proses Pengomposan

Rynk *et al.* (1992), menyatakan bahwa pada awal proses, O₂ dan senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi akan dimanfaatkan oleh mikroba mesofilik. Hal ini berdampak pada peningkatan pH dan suhu yang mencapai 50°C-70°C. Kondisi ini, mikroba termofilik akan lebih dominan dan terjadi penguraian bahan organik *biodegradable* yang sangat aktif. Oksigen dimanfaatkan oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik menjadi CO₂, uap air, dan panas. Isroi (2007), menyatakan bahwa terjadinya panas pada proses pengomposan karena mikroorganisme yang mulai aktif memanfaatkan oksigen dan mulai menguraikan bahan

organik. Apabila semua terurai maka suhu akan berangsur mengalami penurunan. Secara garis besar untuk proses penguraian dapat dilihat dibawah ini.



Tabel 2.3 berikut ini mikroorganisme yang berperan dalam proses pengomposan (Stoffela dan Kahn, 2001):

Tabel 2.3 Mikroorganisme dalam Proses Pengomposan

Mikroorganisme	Jumlah Populasi berdasarkan Fase	
	Mesofilik <40°C	Termofilik 40°C-70°C
Bakteri		
Mesofilik	10 ⁸	10 ⁶
Termofilik	10 ⁴	10 ⁹
Actinomycetes		
Termofilik	10 ⁴	10 ⁸
Jamur		
Mesofilik	10 ⁶	10 ³
Termofilik	10 ³	10 ⁷

Sumber: Stoffela dan Kahn, 2001

Stoffela dan Kahn (2001), menyatakan bahwa aktivitas mikroorganisme mempengaruhi proses pengomposan, dimana tercipta beberapa fase yang ditandai dengan perubahan pH dan temperatur.

1. Fase mesofilik

Kondisi awal dengan oksigen dan kelembaban yang optimal serta substrat yang melimpah sehingga membuat mikroorganisme sangat aktif. Hal ini berdampak pada pH yang turun karena adanya asam organik dan suhu yang meningkat hingga mencapai 35°C-45°C, dimana ketika melebihi 45°C bakteri mesofilik kurang baik dan akan memasuki fase kedua.

2. Fase termofilik

Tahap ini, suhu akan meningkat mencapai 60°C-70°C karena adanya peningkatan aktivitas mikroorganisme. Adanya peningkatan suhu ini maka akan menghasilkan amonia sehingga terjadi kenaikan pH. Pada suhu 60°C, kelompok jamur akan mati dan dilanjutkan oleh kelompok mikroorganisme dari *actinomycetes*.

3. Fase mesofilik kedua

Tahap ini bisa disebut fase pendinginan, aktivitas mikroorganisme akan menurun karena sumber makanan yang semakin berkurang. Hal ini berdampak pada penurunan suhu yang menyebabkan bakteri mesofil muncul kembali.

4. Fase maturasi

Kompos siap untuk dipanen dengan ciri-ciri diantaranya warna coklat-kehitaman, bau seperti tanah, suhu stabil, dan pH mendekati netral.

2.5.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengomposan

Beberapa faktor yang harus dikontrol dalam pengomposan antara lain adalah ukuran partikel, tinggi tumpukan, suhu, pH, kadar air, rasio C/N, porositas, pengadukan, dan konsentrasi oksigen.

- Ukuran partikel

Parameter ini mempengaruhi tingkat porositas untuk aerasi yang tepat (Ruggieri *et al.*, 2009) dan menentukan kapasitas penyimpanan air dan pertukaran gas/air dalam tahap akhir (Zhang dan Sun, 2016). Rynk *et al.* (1992), menyatakan bahwa dekomposisi pengomposan secara aerobik akan meningkat apabila ukuran partikel kecil. Hasil pengomposan yang baik biasanya didapatkan ketika partikel berukuran 1/8 – 2 inci.

- **Tinggi tumpukan**
Timbunan yang terlalu tinggi mengakibatkan bahan akan memadat karena berat bahan itu sendiri yang berdampak pada udara di dasar timbunan berkurang dan suhu terlalu tinggi. Sedangkan, timbunan yang terlalu rendah mengakibatkan kehilangan panas dengan cepat karena bahan kurang untuk menahan panas dan menghindari pelepasannya. Panas yang terlalu tinggi akan membuat mikroorganisme yang diinginkan mati. Syarat tinggi timbunan berkisar antara 1,25-2 m (Simanungkalit *et al.*, 2006).
- **Suhu**
Peningkatan temperatur disebabkan oleh reaksi eksoterm dan aktivitas metabolisme mikroorganisme. Kisaran suhu dalam proses dekomposisi sampah terdapat 2 fase yaitu mesofilik pada suhu 25°C-40°C dan termofilik pada suhu 50°C-60°C. Suhu optimal pada kisaran suhu mesofilik (Polprasert, 1989). Hal penting dalam proses pengomposan sampah sisa makanan adalah suhu yang sesuai untuk perkembangan mikroorganisme dan lamanya fase termofilik (Li *et al.*, 2013). **Tabel 2.4** berikut ini tipikal temperatur untuk beberapa jenis bakteri.

Tabel 2.4 Tipikal Temperatur untuk Beberapa Jenis Bakteri

Jenis	Temperature °C	
	Range	Optimum
<i>Psychrophilic</i>	-10 – 30	15
<i>Mesophilic</i>	20 – 50	35
<i>Thermophilic</i>	45 -75	55

Sumber: Tchobanoglous *et al.*, 1993

- **pH**
Berfungsi untuk mengevaluasi aktivitas mikroorganisme dan kestabilan sampah. pH awal sampah organik berkisar antara 5-7. Awal pengomposan akan mengalami penurunan karena organik akan berada pada temperatur ambien dan aktivitas mikroorganisme mesofil akan meningkat sehingga produksi asam organik akan meningkat. Fase termofilik, pH akan naik berkisar antara 8-8,5 karena temperatur naik dan terjadi proses aerobik. Kompos matang ketika pH akan turun berkisar 7-8 (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Smars *et al.* (2002), menyatakan bahwa tingkat degradasi tertinggi pada kisaran pH 6-8 dengan menggunakan bahan pengomposan dari sampah makanan dan sampah dapur lainnya. Apabila tingkat pH turun di bawah 7 dengan jenis sampah sisa makanan perlu ditambahkan kapur (Nakasaki *et al.*, 1993).
- **Kadar Air**
Peranan yang sangat penting dalam proses metabolisme mikroorganisme dan secara tidak langsung akan berpengaruh pada suplai oksigen. Kelembaban optimum berkisar antara 50%-60% untuk metabolisme mikroba. Apabila kelembaban kurang dari 40% maka perlu penambahan air supaya reaksinya tidak lambat (Tchobanoglous, 1993). Selain itu, bisa digunakan sabut kelapa untuk menyerap dan menyimpan air (Soeلمان dan Rahayu, 2013). Nilai kadar air optimal untuk pengomposan sampah sisa makanan berkisar antara 55%-70%.
- **Rasio C/N**

Elemen penting yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme adalah karbon dan nitrogen. Karbon merupakan sumber energi sedangkan nitrogen diperlukan dalam pembentukan sel mikroba (Polprasert, 1989). Rasio C/N yang efektif untuk proses pengomposan berkisar antara 25:1 dan 40:1 (Paulin dan O'Malley, 2008). Penurunan nilai rasio disebabkan karena terjadinya penurunan karbon yang dipakai sumber energi bagi mikroba untuk menguraikan material organik yang *biodegradable*. Selama proses pengomposan akan terjadi perubahan-perubahan bahan organik menjadi $CO_2 + H_2O + nutrient + kompos + energi$. Penurunan kadar C dan peningkatan kadar N terjadi karena CO_2 menguap sehingga rasio C/N kompos akan menurun (Widarti *et al.*, 2015). Proses pembusukan akan melambat apabila nilai rasio C/N terlalu tinggi. Sebaliknya, jika terlalu rendah walaupun awal berjalan cepat akan, tetapi akan melambat karena kekurangan C sebagai sumber energi mikroorganisme (Pandebesie dan Rayuanti, 2013).

- **Pengadukan**
Pengadukan merupakan faktor yang penting dalam mengontrol kebutuhan udara atau oksigen dalam keadaan aerob, dan kelembaban. Dengan pengadukan akan membuat kelembaban menjadi optimum. Selain itu, menyeragamkan distribusi *nutrient* untuk mikroorganisme serta melancarkan sirkulasi udara. Proses pengomposan dengan bahan organik membutuhkan 15 hari periode pengomposan dengan kelembaban 50%-60% dan pengadukan dilakukan setelah hari ke-3 dan dilakukan setelah hari itu sampai mendapatkan pengadukan sebanyak 4-5 kali (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Pengadukan berpengaruh pada periode pengambilan oksigen dan pencapaian suhu yang maksimum. Dalam penelitiannya Schloss (1999), menyatakan bahwa pengadukan dilakukan setiap hari, 4 hari sekali, dan 8 hari sekali. Untuk pengadukan setiap hari lebih mengurangi panas karena adanya proses penguapan. Diantara variasi tersebut, untuk mencapai suhu maksimum dan mengurangi kadar air, relatif pengadukan dilakukan 4 hari sekali.
- **Konsentrasi Oksigen**
Pengomposan yang cepat dibutuhkan pasokan oksigen yang cukup karena dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Aerasi yang alami terjadi pada saat peningkatan suhu yang menyebabkan udara hangat keluar dan udara dingin masuk ke dalam tumpukan kompos. Apabila aerasi tidak berjalan, maka akan terjadi kondisi anaerob yang dapat menyebabkan bau tidak sedap. Hal ini dapat ditingkatkan dengan cara pengadukan dan mengalirkan udara ke dalam tumpukan kompos (Isroi, 2007). Zhang dan Sun (2016), menyatakan bahwa tingkat aerasi yang memadai, mulai dari 0,2 – 0,6 L udara/menit.kg kandungan organik yang dimana dapat menunjukkan peningkatan pada pelepasan NH_3 dan bau, serta penurunan rasio C/N dan kematangan kompos.

2.5.3 Kualitas Kompos

Kualitas kematangan kompos dapat ditinjau di SNI 19-7030-2004 tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestik. Definisi kompos berdasarkan SNI yaitu, bentuk akhir dari bahan-bahan organik sampah domestik setelah mengalami dekomposisi. Spesifikasi kualitas kompos dari sampah organik domestik dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Standar Kualitas Kompos

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1	Kadar Air	%	-	50
2	Temperatur	C		suhu air tanah
3	Warna			kehitaman
4	Bau			berbau tanah
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
6	Kemampuan ikat air	%	58	-
7	pH		6,80	7,49
8	Bahan asing	%	*	1,5
	Unsur makro			
9	Bahan organik	%	27	58
10	Nitrogen	%	0,40	-
11	Karbon	%	9,80	32
12	Phosphor	%	0,10	-
13	C/N-rasio		10	20
14	Kalium	%	0,20	*
	Unsur mikro			
15	Arsen	mg/kg	*	13
16	Kadmium	mg/kg	*	3
17	Kobal	mg/kg	*	34
18	Kromium	mg/kg	*	210
19	Tembaga	mg/kg	*	100
20	Merkuri	mg/kg	*	0,8
21	Nikel	mg/kg	*	62
22	Timbal	mg/kg	*	150
23	Selenium	mg/kg	*	2
24	Seng	mg/kg	*	500
	Unsur lain			
25	Kalsium	%	*	25,50
26	Magnesium	%	*	0,60
27	Besi	%	*	2,00
28	Aluminium	%	*	2,20
29	Mangan	%	*	0,10
	Bakteri			
30	Fecal Coli	MPN/gr		1000
31	Salmonella sp.	MPN/4 gr		3

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

Sumber: SNI 19-7030-2004

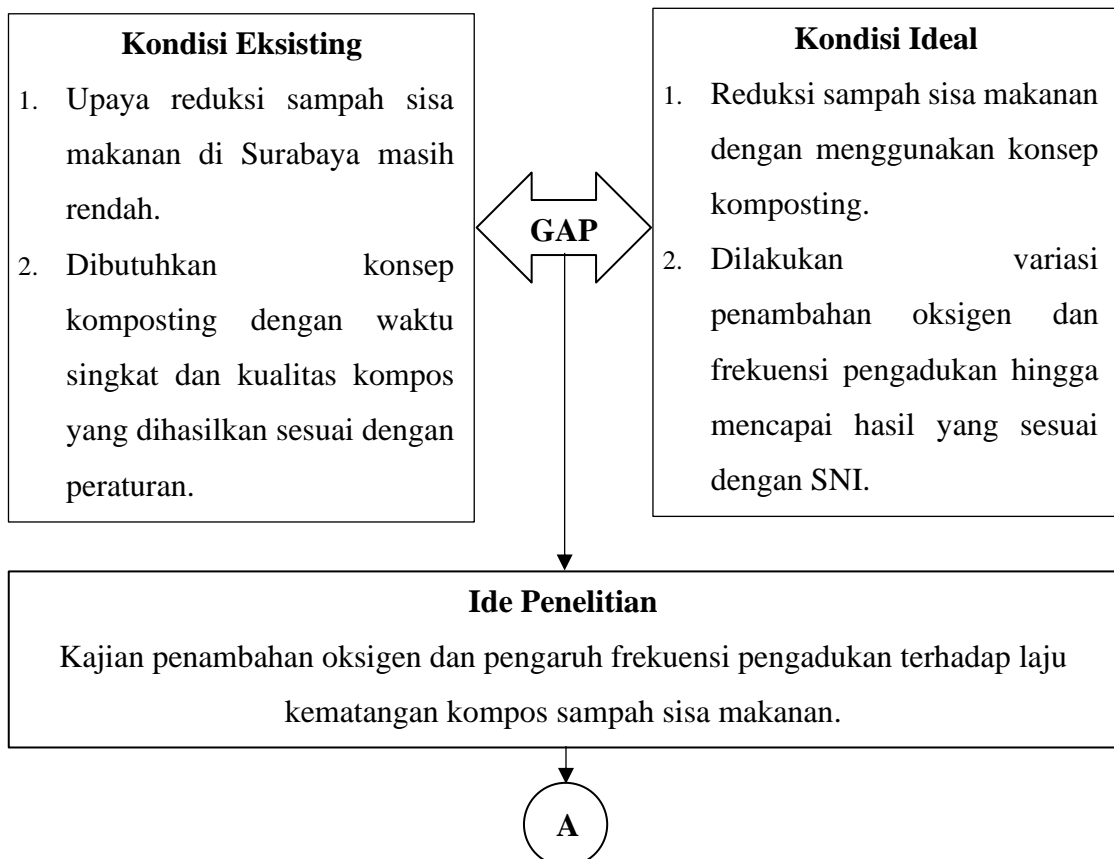
BAB III METODOLOGI

3.1 Gambaran Umum Penelitian

Bab metodologi penelitian ini, akan dibahas tentang segala sesuatu yang berhubungan dengan teknis pelaksanaan penelitian. Penelitian dilaksanakan dalam skala laboratorium, bertempat di Workshop Departemen Teknik Lingkungan ITS, dengan sampah yang digunakan adalah sampah sisa makanan dari rumah makan daerah sekitar ITS. Penelitian direncanakan dalam 1 bulan waktu pengomposan dengan menggunakan 3 reaktor. Hasil akhir yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah optimalisasi proses pengolahan komposting dengan melakukan variasi penambahan oksigen dan variasi frekuensi pengadukan. Selain itu, reaktor mana yang memiliki kualitas kompos yang paling baik dan efektif.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka alur penelitian ini merupakan salah satu pedoman selama proses penelitian berlangsung. Kerangka alur penelitian ini berisikan tentang hal – hal apa saja yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan yang telah dicantumkan. Kerangka penelitian ini dibuat berdasarkan adanya perbedaan antara kondisi ideal dan kondisi eksisting. Selanjutnya, dari perbedaan tersebut dapat dirumuskan masalah untuk dikaji, ditentukan tujuan penelitian yang dapat menjawab/menangani perbedaan kondisi tersebut, dilakukan pengumpulan data yang sesuai dengan kebutuhan penelitian, dilakukan analisis dan pembahasan data yang didapatkan di lapangan. Lalu setelah dilakukan pembahasan dan penganalisisan data yang didapatkan, maka dapat diambil kesimpulan dan saran untuk permasalahan yang ada tersebut. Kerangka penelitian selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



A

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan oksigen dan keefektifan frekuensi pengadukan terhadap laju kematangan kompos untuk jenis sampah sisa makanan dengan menggunakan pengomposan *in-vessel*?
2. Bagaimana kelimpahan mikroorganisme pada proses pengomposan *in-vessel* untuk jenis sampah sisa makanan?
3. Bagaimana kualitas kompos yang dihasilkan dari proses pengomposan *in-vessel* untuk jenis sampah sisa makanan?

Tujuan Penelitian

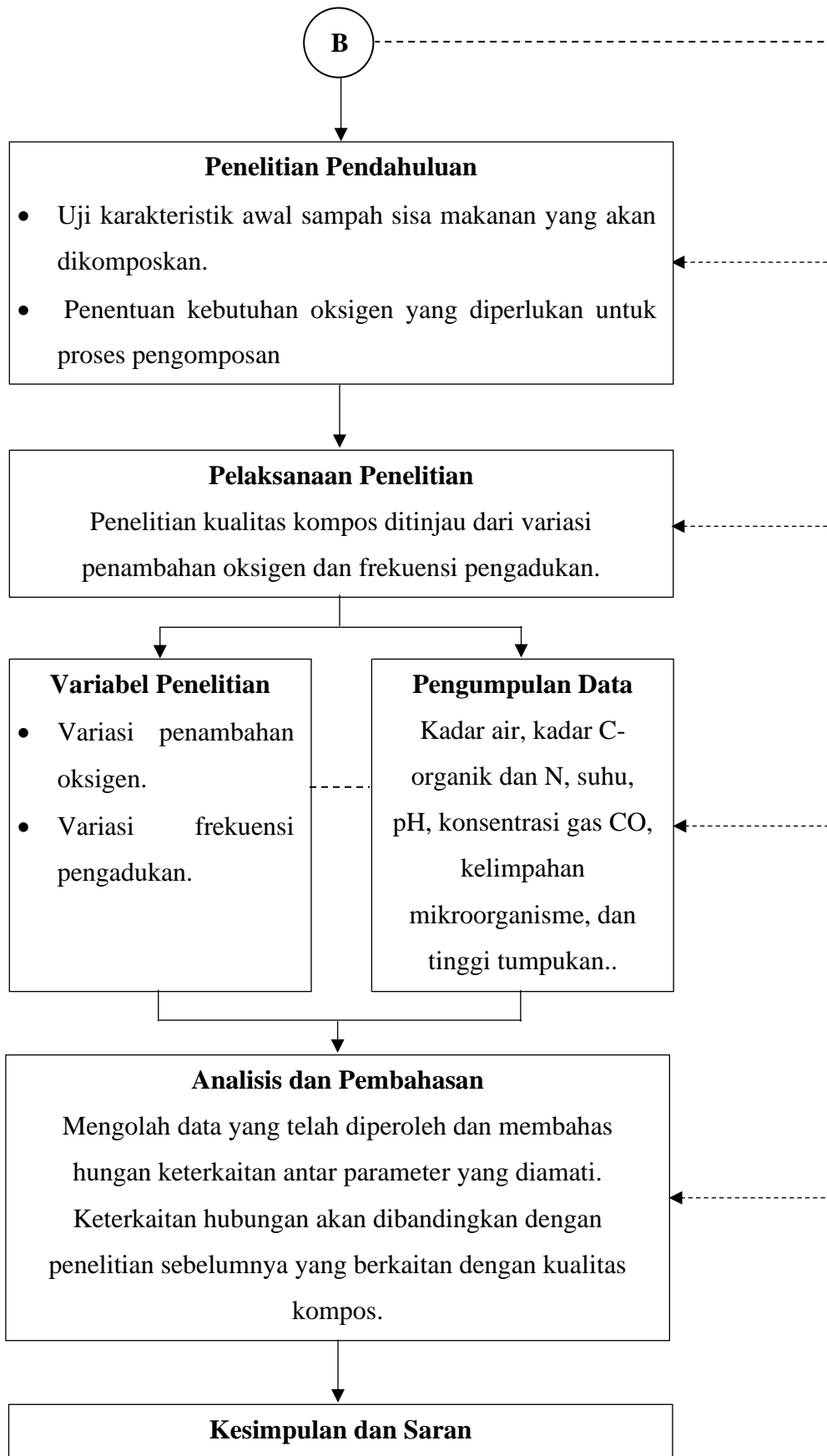
1. Mengkaji pengaruh penambahan oksigen dan keefektifan frekuensi pengadukan terhadap laju kematangan kompos untuk jenis sampah sisa makanan dengan menggunakan pengomposan *in-vessel*.
2. Menganalisis kelimpahan mikroorganisme pada proses pengomposan *in-vessel* untuk jenis sampah sisa makanan.
3. Mengidentifikasi kualitas kompos yang dihasilkan proses pengomposan *in-vessel* untuk jenis sampah sisa makanan.

Persiapan Penelitian

- Mengurus perijinan laboratorium dan workshop.
- Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.

Studi Literatur

B



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3 Tahapan Penelitian

Dalam sub bab ini berisi penjelasan tahapan-tahapan yang dilalui dalam penelitian. Tahapan penelitian selengkapnya dapat dilihat pada penjelasan berikut ini.

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan selama penelitian sehingga diharapkan dapat membantu kelancaran selama penelitian dan memberikan jawaban atas permasalahan-permasalahan yang ada serta dapat menjadi acuan dalam melakukan analisis data dan pembahasan. Sumber literatur yang digunakan berupa jurnal ilmiah, buku teks, laporan tugas akhir, *thesis*, penelitian terdahulu, internet, serta saran dari dosen yang sesuai dengan topik penelitian. Tujuan dilakukan studi literatur selama penelitian yaitu:

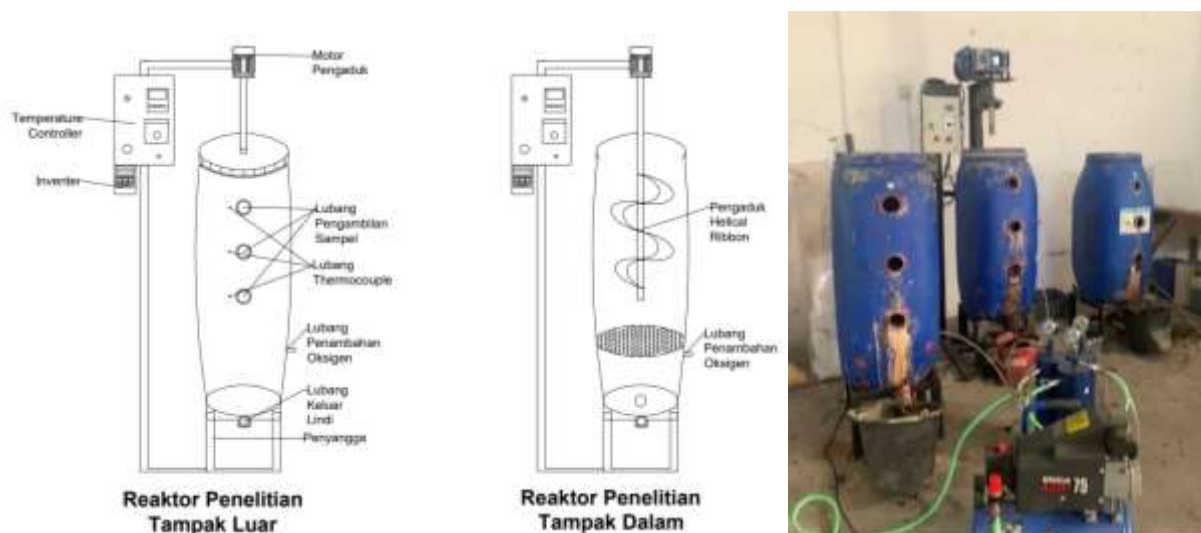
1. Lebih memahami bidang yang sedang diteliti
2. Mengetahui prosedur penelitian yang tepat
3. Membantu untuk menjawab permasalahan-permasalahan yang ada dalam penelitian

3.3.2 Persiapan Penelitian

Hal yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah mengurus perijinan kepada penanggung jawab laboratorium dan workshop Teknik Lingkungan ITS untuk penggunaan tempat selama penelitian. Selain itu, mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan antara lain:

1. Persiapan Reaktor

Reaktor berjumlah 3 buah dengan kapasitas 90 kg yang dioperasikan secara bersamaan. Reaktor berbentuk tong plastik dengan ketinggian 90 cm dan memiliki diameter 30 cm. Bagian reaktor dilengkapi dengan tempat penambahan oksigen, tempat keluarnya lindi berdiameter 1 inci, 3 lubang pada bagian tong dengan dengan diameter 2 inci dan jarak antar lubang 15 cm yang berfungsi sebagai tempat sirkulasi oksigen serta tempat pengambilan kompos untuk melakukan sampling dan yang sudah matang. Peralatan lain untuk menganalisis parameter kompos seperti *moisture* meter, *soil tester*, dan *gas detector*. Untuk lebih jelasnya reaktor penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Reaktor Penelitian

2. Persiapan Bahan yang akan Dikomposkan

Sampah sisa makanan yang digunakan dari rumah makan daerah sekitar ITS yang meliputi Gebang, Keputih, dan Mulyosari.

- Penetapan lokasi *sampling*
Lokasi *sampling* yang ditetapkan di rumah makan di daerah sekitar ITS. Penetapan lokasi ini didasarkan dengan pertimbangan untuk mempermudah teknis selama pelaksanaan penelitian.
- Metode *sampling*
Metode yang digunakan adalah metode dengan sengaja atau *purposive*.
- Cara pengambilan sampel untuk analisis laboratorium
Pengambilan atau pengeluaran sampel dari dalam reaktor dilakukan untuk keperluan analisis parameter penelitian. Pengambilan sampel ini untuk setiap parameter berbeda. Parameter rasio C/N dan kelimpahan mikroorganisme metode *Total Plate Count* (TPC) dilakukan pada setiap titik *sampling* yaitu sebanyak 3 lubang pada bagian reaktor. Cara pengambilan sampel menggunakan spatula pada titik *sampling* yang diinginkan. Lama pengomposan kurang lebih 30 hari untuk mencapai kematangan kompos.

3.3.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan diperlukan untuk menentukan variasi penambahan oksigen dan frekuensi pengadukan yang akan dilakukan pada penelitian utama. Penelitian pendahuluan yang akan dilakukan meliputi:

1. Karakteristik awal bahan pengomposan yaitu sampah sisa makanan.

Bahan pengomposan didapatkan dari rumah makan daerah sekitar ITS. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil sampah sisa makanan di setiap rumah makan menggunakan kantong plastik yang diberikan kepada pemilik rumah makan. Sampah sisa makanan didapatkan dari 22 rumah makan yang dilakukan sebanyak 1 kali. Dilakukan pemilahan sampah untuk memisahkan bahan lain yang tidak termasuk sampah sisa makanan. Kemudian, sampah sisa makanan diaduk rata supaya tercampur sempurna. Untuk mengetahui bahan pengomposan dilakukan penimbangan menggunakan gantungan digital. Sampel yang digunakan dalam uji ini ditetapkan sebanyak 100 kg karena setiap reaktor mampu menampung 90 kg bahan pengomposan dengan tujuan untuk memperoleh hasil yang representatif. Pendataan dan berat sampah setiap rumah makan dapat dilihat pada **Lampiran D**. Parameter yang diuji yaitu suhu, pH, kadar air, %C-organik, %total N, rasio C/N, dan komposisi sampah sisa makanan. Hasil uji bahan pengomposan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**. Sedangkan untuk komposisi sampah sisa makanan dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.1 Karakteristik Awal Bahan Pengomposan

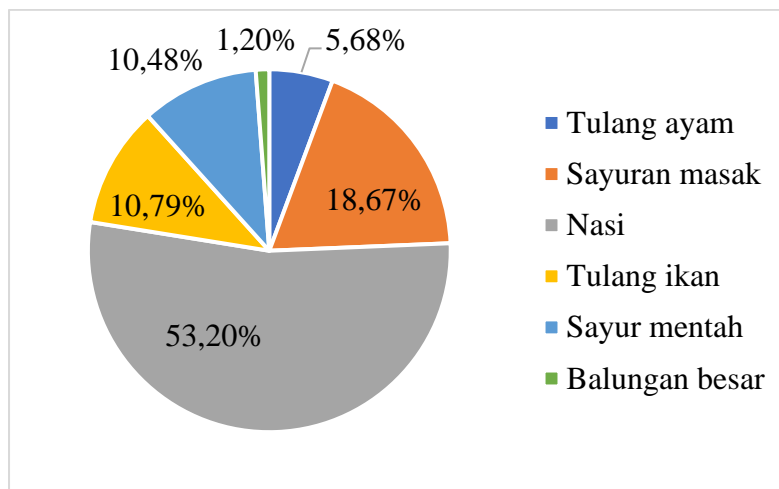
Hasil Pengukuran Karakteristik Awal	
Parameter	Hasil
Suhu	34
pH	<3
Kadar Air	78,2
C-organik	55,42%
Total N	1,69%
C/N	32,79

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Tabel 3.2 Komposisi Sampah Sisa Makanan

No	Komposisi Sampah	Berat Sampah (kg)	Persentase
1	Tulang ayam	5,675	5,68%
2	Sayuran masak	18,665	18,67%
3	Nasi	53,195	53,20%
4	Tulang ikan	10,79	10,79%
5	Sayur mentah	10,475	10,48%
6	Balungan besar	1,2	1,20%
Total		100	100%

Sumber: Hasil Analisis, 2022



Gambar 3.3 Grafik Komposisi Sampah Sisa Makanan

2. Penentuan penambahan oksigen yang digunakan untuk mempercepat kematangan kompos.

Oksigen sangat dibutuhkan dalam proses pengomposan secara aerobik. Oksigen dapat diberikan dari suplai oksigen secara langsung melalui kompresor. Huang (1993), menyatakan bahwa penambahan oksigen dilakukan untuk mencapai 3 tujuan yaitu penguraian bahan organik yang dibutuhkan dalam proses dekomposisi, pengurangan kadar air dalam kompos, dan pengurangan panas yang dihasilkan oleh degradasi bahan organik, Kebutuhan oksigen tersebut dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan stoikiometri. Dalam melakukan perhitungan kebutuhan oksigen dibutuhkan komposisi kimia sampah sisa makanan yang telah didapatkan pada uji karakteristik awal bahan pengomposan. Komposisi kimia dibedakan menjadi 2 yaitu *proximate analysis* dan *ultimate analysis*. Perhitungan dilakukan berdasarkan *ultimate analysis* yaitu perbandingan kandungan unsur-unsur sampah yang meliputi C (Carbon), H (Hidrogen), O (Oksigen), dan N (Nitrogen) (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Perhitungan yang dilakukan didapatkan hasil kebutuhan oksigen dengan berat sampah 100 kg sebesar 0,9357 L udara/menit.kg ~ 1 L udara/menit.kg. Perhitungan kebutuhan oksigen dapat dilihat pada **Lampiran B**.

3.3.4 Variabel Penelitian

Penentuan variabel penelitian didapatkan dari perhitungan kebutuhan oksigen. Frekuensi pengadukan ditentukan dari penelitian yang dilakukan oleh para ahli yang dapat dilihat pada Bab 2 Tinjauan Pustaka bahwa pengadukan untuk hasil yang maksimal dilakukan

4 hari sekali. Untuk variasi variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.3 Variabel Penelitian

Pengadukan (hari)	Oksigen (L udara/menit.kg)		
	0	1	1,5
0	R1 (Perlakuan Kontrol)		
5		R2	
10			R3

Untuk mempermudah pengamatan maka akan diberi label untuk masing-masing reaktor, yaitu:

1. Reaktor 1 (R1): sampah sisa makanan tanpa frekuensi pengadukan dan oksigen karena sebagai kontrol.
2. Reaktor 2 (R2): sampah sisa makanan dengan frekuensi pengadukan 5 hari sekali ditambah oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg.
3. Reaktor 3 (R3): sampah sisa makanan dengan frekuensi pengadukan 10 hari sekali ditambah oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg.

3.3.5 Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini, kompos dibuat dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pengambilan sampah



Gambar 3.4 Pengambilan Sampah Sisa Makanan

Rumah makan yang dipilih akan diberikan plastik untuk menampung sampah sisa makanan dan dibiarkan selama 1 hari, kemudian diambil pada hari selanjutnya dibawa ke workshop Teknik Lingkungan ITS. Apabila sampah masih belum memenuhi reaktor, maka akan dilakukan pengambilan sampah kembali.

2. Pemilahan sampah



Gambar 3.5 Pemilahan Sampah Sisa Makanan

Dilakukan untuk memisahkan bahan yang sulit diuraikan seperti sampah lainnya yang masuk misalnya plastik, karet, dan kertas.

3. Pencacahan bahan pengomposan



Gambar 3.6 Pencacahan Sampah Sisa Makanan

Pencacahan dilakukan menggunakan mesin pencacah dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali hingga ukuran sampah sebesar 7 mm.

4. Penambahan oksigen dan pengadukan

Penambahan oksigen dan pengadukan disesuaikan dengan variasi yang akan digunakan. Penambahan oksigen dilakukan dengan cara menambahkan udara menggunakan

kompresor. Pada kompresor terdapat 3 kran yang akan disambungkan ke lubang udara setiap reaktor dengan menggunakan selang untuk memberikan variasi sesuai yang direncanakan secara terus menerus. Pengadukan dilakukan dengan menggunakan alat pengaduk *helical ribbon*.

5. Pemantauan parameter

Dilakukan untuk pengumpulan data yang akan dijelaskan pada bab selanjutnya. Pemanenan dapat dilakukan apabila sudah sesuai dengan ciri-ciri kematangan yang dijelaskan pada SNI.

3.3.6 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diambil secara langsung di lapangan untuk menunjang analisis penelitian. Parameter pengamatan merupakan dasar yang dijadikan tolok ukur untuk mengetahui reaksi-reaksi yang terjadi selama proses pengomposan dari awal sampai akhir penelitian. Data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi sampah yang akan dikomposkan

Data komposisi sampah yang dikomposkan dapat diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan pada saat sampah mulai dikumpulkan. Data ini diperlukan untuk menentukan persentase sampah makanan pada reaktor. Sebelum sampah dimasukkan ke dalam reaktor, terlebih dahulu untuk dilakukan pemilahan terhadap sampah yang berupa tulang atau berstruktur keras.

2. Karakteristik sampah yang dikomposkan

Data karakteristik sampah makanan yang dikomposkan diperoleh dari analisis terhadap material sampah makanan pada tumpukan reaktor yang diamati. Data ini diperlukan untuk mengetahui kondisi awal hingga akhir proses pengomposan yang terjadi. Rincian data yang dilakukan antara lain:

- Kadar air

Data kadar air diperoleh dengan alat ukur lapangan. Alat ukur lapangan akan dimasukkan ke dalam titik tumpukan yang ditentukan. Data diambil setiap hari. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah *single grab sampling* pada beberapa titik tumpukan. Untuk alat moisture meter dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Moisture Meter

- Kadar C-organik

Data kadar C-organik diperoleh dengan mengambil sampel dari reaktor yang diamati. Sampel akan diuji di laboratorium dan metode pengambilan sampel yang digunakan

adalah *single grab sampling* setiap titik tumpukan. Data diambil pada hari ke-1, ke-5, ke-10, ke-15, ke-20, ke-25, dan ke-30.

- Kadar total N
Data kadar total N diperoleh dengan mengambil sampel dari reaktor yang diamati. Sampel akan diuji di laboratorium. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah *single grab sampling* pada setiap titik tumpukan. Data diambil pada hari ke-1, ke-5, ke-10, ke-15, ke-20, ke-25, dan ke-30.
- Rasio C/N
Dara rasio C/N didapatkan dari perbandingan kadar C-organik dengan kadar total N. Data diambil pada hari ke-1, ke-5, ke-10, ke-15, ke-20, ke-25, dan ke-30.
- Suhu tumpukan kompos
Data suhu diperoleh dari pengukuran harian pada tumpukan reaktor yang diamati. Data suhu diperoleh dengan menggunakan *soil tester*. Data diambil setiap hari. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah *single grab sampling* pada beberapa titik tumpukan.
- pH tumpukan kompos
Data pH diperoleh dari pengukuran harian pada tumpukan reaktor yang diamati. Data pH diperoleh dengan menggunakan *soil tester*. Alat *soil tester* akan dimasukkan ke dalam titik tumpukan yang ditentukan. Data diambil setiap hari. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah *single grab sampling* pada beberapa titik tumpukan. Data suhu dan pH diperlukan sebagai parameter untuk mengetahui hubungan antar parameter pada skala laboratorium. Untuk alat pH meter dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8 Soil Tester

- Konsentrasi gas tumpukan
Data konsentrasi gas diperoleh dengan mengambil sampel dari reaktor yang diamati. Sampel akan diukur dengan alat sensor gas lapangan. Gas yang diukur adalah CO. Data diambil setiap hari menggunakan alat *gas detector*. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah *single grab sampling* pada setiap titik tumpukan. Untuk alat gas detector dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 Gas Detector

- Kelimpahan mikroorganisme tumpukan kompos
Data kelimpahan mikroorganisme diperoleh dengan mengambil sampel dari reaktor yang diamati. Sampel akan diuji di laboratorium. Metode uji yang digunakan adalah metode TPC. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah *single grab sampling* pada setiap titik tumpukan. Data diambil pada hari ke-5, ke-15, dan ke-30.
- Tinggi tumpukan kompos
Data tinggi tumpukan kompos diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan. Data ini diperlukan untuk mengetahui berapa besar persentase dampak pengomposan terhadap volume sampah makanan. Data diambil setiap hari.
- Kualitas akhir pengomposan
Data kualitas akhir pengomposan diperoleh dari analisis terhadap material hasil pengomposan dari reaktor yang diamati. Data ini diperlukan untuk mengetahui kesesuaian kompos yang dihasilkan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7030-2004.

Tabel 3.4 Metode Analisis Parameter

No	Parameter	Metode	Sumber
1	Kadar air	<i>Moisture meter</i>	-
2	Kadar C-organik	Gravimetri	Horwatz, 2008
3	Kadar total N	<i>Kjeldahl</i> dan spektrofotometri	ASTM 5373 : 2002
4	Rasio C/N	Perbandingan	-
5	Suhu	<i>Soil tester</i>	-
6	pH	<i>Soil tester</i>	-
7	Konsentrasi gas tumpukan	<i>Gas detector</i>	-
8	Kelimpahan mikroorganisme	<i>Total Plate Count</i> (TPC)	Buku Panduan Praktikum Mikrobiologi Lingkungan TL ITS

3.3.7 Analisis dan Pembahasan

Hasil dari penelitian yang telah diperoleh kemudian diolah dan dilakukan analisis dari data tersebut. Data yang dikumpulkan akan dibuat menjadi grafik dengan sumbu-y adalah nilai dari parameter yang diamati dan sumbu-x adalah waktu dalam satuan hari. Parameter yang dibuatkan grafik adalah suhu, pH, kadar air, kadar C-organik, kadar total N, konsentrasi gas, kelimpahan mikroorganisme, dan hasil kompos. Hasil dari tiap grafik akan dibandingkan dan dibuat keterkaitan antar parameter yang mempengaruhi nilai parameter lainnya. Pembahasan keterkaitan ini akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya serta termasuk dalam perbedaan skala dan kondisi dari pengomposan.

3.3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan hasil dari analisis, pengolahan data dan pembahasan terhadap data-data yang diperoleh selama penelitian. Sehingga kesimpulan yang diperoleh merupakan implementasi dari keberhasilan pencapaian tujuan dari penelitian. Pemberian saran dilakukan untuk perbaikan pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Dalam bab ini akan dibahas hasil analisis penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan oksigen dan frekuensi pengadukan terhadap laju kematangan kompos. Penelitian *in-vessel composting* ini dilakukan dalam skala laboratorium di Workshop Teknik Lingkungan ITS. Proses pengomposan dilakukan selama 30 hari yang dimulai pada 9 April 2022 dan berakhir pada 8 Mei 2022.

Penelitian utama dimulai dari pengambilan bahan pengomposan yaitu sampah sisa makanan yang berasal dari rumah makan daerah sekitar ITS. Pengambilan sampah sisa makanan dilakukan selama 3 hari untuk memenuhi 3 reaktor dan didapatkan berat sampah sisa makanan sebesar 270,841 kg dari 22 rumah makan. Tahapan selanjutnya sebelum dimasukkan ke dalam reaktor yaitu pemilahan untuk memastikan tidak ada sampah lain selain sampah sisa makanan. Dan pencacahan untuk mendapatkan ukuran partikel sampah yang kecil yaitu 7 mm. Tumuluru dan Heikkilla (2019), menyatakan bahwa semakin kecil ukuran partikel sampah, maka akan semakin mempercepat pengomposan karena luas permukaan kontak dalam proses degradasi akan semakin luas. Pencacahan dilakukan di gudang Gunung Anyar menggunakan alat *grinder*. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, alternatif pengaturan kecepatan *grinder* untuk respon yang optimal adalah 730 rpm dengan kadar air yang dihasilkan sebesar 53,5% dan lolos *screen* yang dihasilkan sebesar 40,9%. Selain itu, untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dilakukan pengulangan pencacahan sebanyak 3 kali. Hasil kadar air yang didapatkan setelah pencacahan sebesar 72,8% yang dimana terdapat penurunan dari kadar air awal namun masih belum sesuai dengan penelitian sebelumnya. Hal ini disebabkan karena bahan pengomposan sampah sisa makanan mengandung kadar air yang terlalu banyak yang dihasilkan dari sayur yang sudah diolah.

Bahan pengomposan yang sudah tercampur sempurna dimasukkan ke dalam reaktor *in-vessel composting* dan ditambahkan oksigen menggunakan kompresor sesuai dengan variasi yang telah ditetapkan. Selama proses pengomposan berlangsung pada reaktor 2 dan 3 dilakukan pengadukan. Untuk reaktor 2 dilakukan pengadukan 5 hari sekali dan reaktor 3 dilakukan 10 hari sekali. Pengadukan dilakukan dengan menggunakan pengaduk *helical ribbon* selama 15 menit dengan kecepatan 95 rpm. Kelebihan reaktor ini adalah sederhana, tidak memakan tempat, dan secara estetika tidak mengganggu karena berada pada tempat tertutup.

Hasil penelitian akan lebih banyak disajikan dalam bentuk grafik dan tabel untuk mempermudah analisis dan pengambilan kesimpulan dari kecenderungan selama proses pengomposan. Diharapkan dari penelitian ini dapat mengatasi permasalahan timbulan sampah sisa makanan.

4.2 Pengaruh Penambahan Oksigen dan Keefektifan Frekuensi Pengadukan terhadap Laju Kematangan Kompos

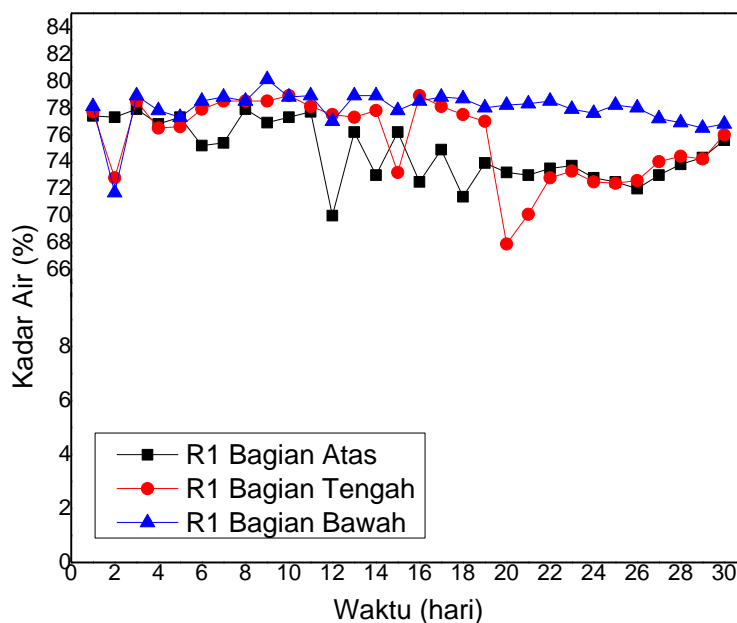
Pengomposan dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan oksigen dan frekuensi pengadukan terhadap laju kematangan kompos. Analisis yang dilakukan selama proses pengomposan meliputi kadar air, suhu, pH, tinggi tumpukan, C-organik, total N, rasio C/N, konsentrasi gas CO, dan kelimpahan mikroorganisme. Data parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada **Lampiran C**.

4.2.1 Perubahan Kadar Air Tumpukan Kompos

Pengamatan kadar air diperlukan untuk mengetahui kondisi awal sampah sisa makanan karena kadar air merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik. Faktor lingkungan yaitu cuaca dan suhu dapat mempengaruhi kadar air dalam proses pengomposan. Dalzell *et al.* (1987) menyatakan bahwa air yang dihasilkan pada proses pengomposan oleh mikroorganisme dalam bentuk lindi ada sebagian yang hilang karena evaporasi ke dalam aliran udara. Selain itu, kadar air secara tidak langsung berpengaruh pada suplai oksigen (Isroi, 2007).

Kadar air diukur setiap hari menggunakan alat *moisture meter* karena untuk mendapatkan nilai kadar air yang akurat, cepat, dan mudah dengan jumlah reaktor yang banyak. Pada awal pengomposan, kadar air untuk semua reaktor berkisar antara 75%-85% karena sampah sisa makanan yang dicacah kandungan airnya akan semakin banyak. Hal tersebut dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan untuk pengomposan yaitu sampah sisa makanan yang meliputi nasi, ikan, ayam, sayuran mentah, dan sayuran matang. Umumnya tanaman muda mengandung kadar air 80% sedangkan tanaman tua 70% (Murtaliningsih, 2001). Tchobanoglous *et al.* (1993) kadar air sampah sisa makanan adalah 70%. Perubahan kadar air selama proses pengomposan dapat dilihat pada penjelasan berikut ini. Data selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran C**.

a) Reaktor 1 (R1) (Tanpa penambahan oksigen dan pengadukan)



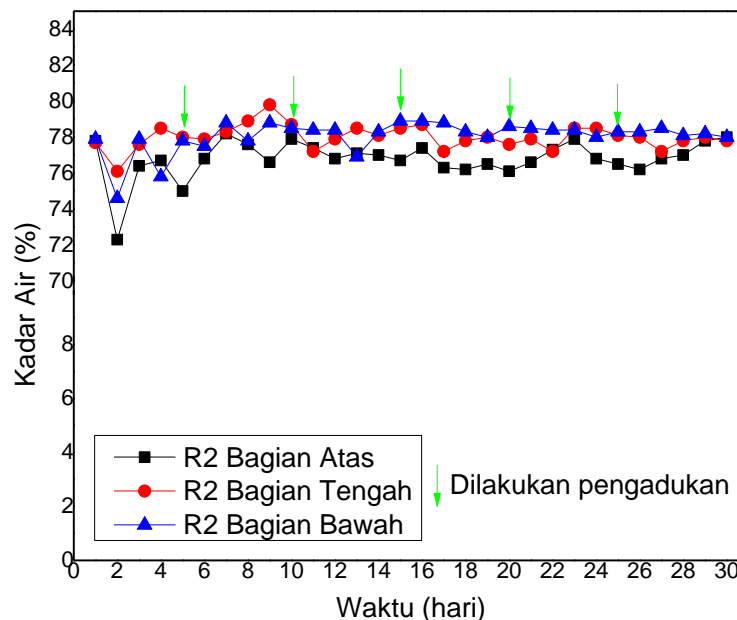
Gambar 4.1 Grafik Perubahan Kadar Air Reaktor 1

Pada variasi ini, kadar air awal pengomposan semua bagian berkisar antara 77%-78%. Hal ini menunjukkan belum adanya proses pengomposan. Diantara 3 bagian, kadar air bagian bawah lebih tinggi dibandingkan yang lain karena air yang dihasilkan dari bagian atas dan tengah turun ke bawah yang dimana menghasilkan lindi. Pada hari kedua, semua bagian mengalami penurunan berkisar antara 71%-77%. Bagian atas tidak mengalami penurunan secara signifikan karena air yang dihasilkan oleh bahan pengomposan belum

bisa menembus ke bawah. Penurunan yang tidak signifikan ini dapat terjadi akibat lembabnya suhu dalam tumpukan karena suplai udara yang tidak mampu membuka ruang antara fase dalam tumpukan. Reaktor ini sebagai kontrol tanpa adanya penambahan oksigen dan pengadukan.

Pada hari kedua puluh lima, kadar air di semua tumpukan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan menurunnya aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi sampah sisa makanan. Begitu juga pada hari ketiga puluh, kadar air mengalami penurunan pada bagian bawah namun kadar air pada atas dan tengah mengalami kenaikan. Kadar air pengomposan ini relatif tinggi dan sangat berfluktuatif dikarenakan penelitian ini tidak ada tambahan oksigen dan pengadukan sehingga kadar air tidak dapat terdistribusi merata pada tumpukan. Selain itu, faktor sirkulasi udara yang kurang baik memungkinkan proses evaporasi tidak berjalan sempurna.

- b) Reaktor 2 (R2) (Penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali)

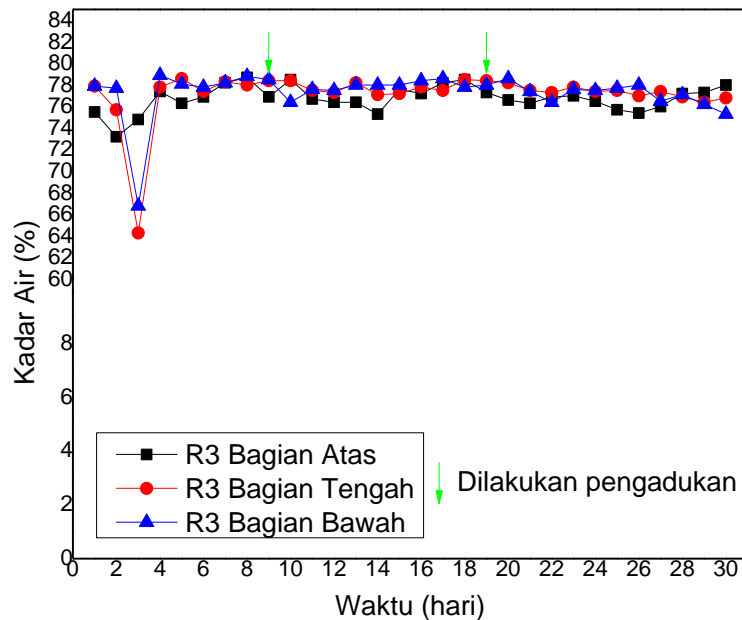


Gambar 4.2 Grafik Perubahan Kadar Air Reaktor 2

Pada reaktor 2, kadar air awal pengomposan semua bagian berkisar antara 77%-78%. Sama halnya dengan reaktor 1, hari kedua mengalami penurunan. Dengan penambahan oksigen dan pengadukan diharapkan kadar air dapat diturunkan. Adanya pengadukan tumpukan kompos bertujuan untuk meratakan proses dan mentransfer udara ke dalam tumpukan kompos. Pengadukan dilakukan setiap 5 hari sekali dan menunjukkan penurunan kadar air. Tetapi hal tersebut tidak berlaku untuk hari selanjutnya karena kadar air mengalami naik turun.

Pada hari ketiga puluh, kadar air bagian tengah dan bawah mengalami penurunan, sedangkan pada bagian atas mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena suplai oksigen yang sedikit. Udara tidak dapat menguapkan air sehingga kadar air tidak berkurang secara signifikan.

- c) Reaktor 3 (R3) (Penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali)



Gambar 4.3 Grafik Perubahan Kadar Air Reaktor 3

Pada reaktor 3, kadar air awal pengomposan semua bagian berkisar antara 75%-78%. Sama halnya dengan reaktor 1 dan 2, hari kedua mengalami penurunan. Pengadukan dilakukan setiap 10 hari sekali dan ditambahkan oksigen lebih banyak dari reaktor 2. Suplai udara diberikan lebih banyak diharapkan mampu membantu proses dekomposisi biologis dan mengurangi kadar air. Setiap dilakukan pengadukan, kadar air pada hari selanjutnya mengalami penurunan.

Nolan *et al.* (2011) menyatakan bahwa penurunan kadar air disebabkan oleh penguapan air akibat peningkatan suhu dari panas yang dihasilkan pada proses metabolisme mikroorganisme. Terdapat perbedaan nilai kadar air pada setiap reaktor. Perbedaan ini karena penambahan oksigen yang kurang dan kurang ratanya pengadukan. Diantara reaktor yang lain, kadar air yang paling kecil adalah reaktor 3 pada bagian bawah sebesar 75,3%. Tetapi hal ini belum sesuai dengan kadar air yang optimum. Kadar air yang melebihi 60% dapat menyebabkan pergerakan oksigen terganggu (Gajalakshmi dan Abbasi, 2008).

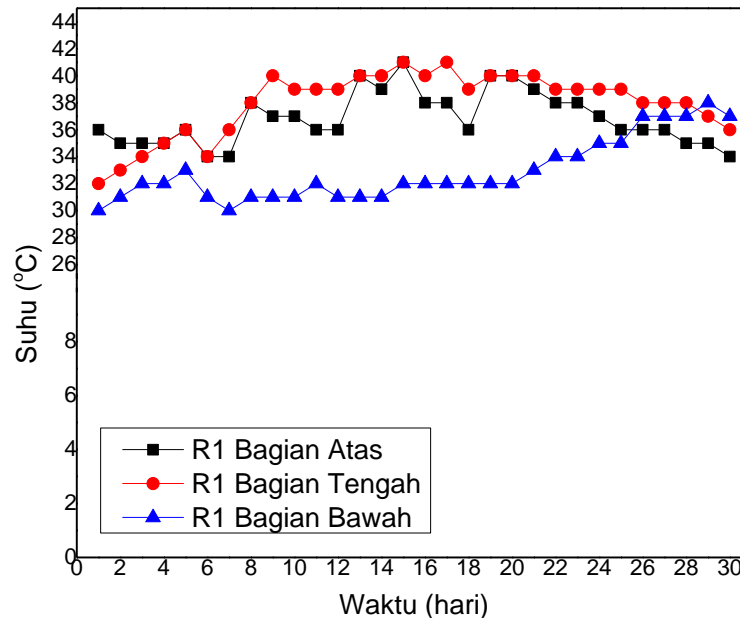
4.2.2 Perubahan Suhu Tumpukan Kompos

Pengamatan suhu diperlukan untuk mengetahui perubahan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Selain itu, suhu dapat menunjukkan keseimbangan antara panas yang dihasilkan dan faktor aerasi. Bernal *et al.* (2009) menyatakan bahwa aerasi yang benar dapat mengontrol suhu, mengurangi kadar air, dan jumlah CO₂ yang berlebih.

Suhu diukur setiap hari menggunakan alat *soil tester* karena untuk mendapatkan nilai suhu yang akurat, cepat, dan mudah dengan jumlah reaktor yang banyak. Data didapatkan dari 3 titik yaitu bagian atas, tengah, dan bawah. Pola perubahan suhu hampir sama dengan suhu

ruang. Sari *et al.* (2015) menyatakan bahwa suhu lingkungan memiliki pengaruh terhadap reaktor. Dan untuk data selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran C**.

a) Reaktor 1 (R1) (Tanpa penambahan oksigen dan pengadukan)



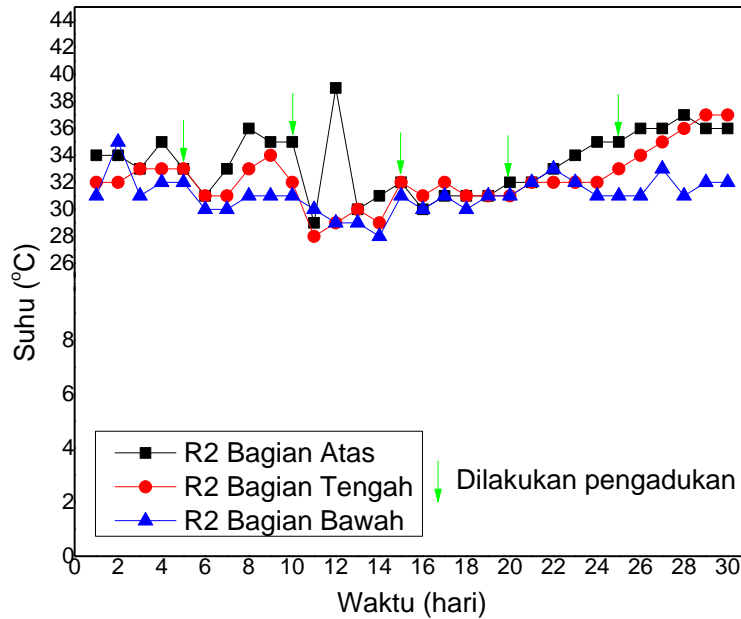
Gambar 4.4 Grafik Perubahan Suhu Reaktor 1

Pada reaktor 1, suhu awal pengomposan untuk semua bagian berkisar antara 30°C-36°C. Suhu pada bagian tengah dan bawah mengalami peningkatan yaitu secara berturut-turut hingga 36°C dan 33°C. Bagian atas sampai hari kelima masih menunjukkan posisi stabil yaitu 35°C. Pada hari kelima sampai sembilan bagian tengah mengalami kenaikan hingga 40°C.

Suhu tertinggi terjadi pada hari ke 15 dan 16 bagian tengah yaitu sebesar 41°C. Hal ini terjadi karena tidak ada penambahan oksigen dan pengadukan sehingga tidak adanya suplai udara yang masuk secara merata pada setiap bagian. Diantara ketiga bagian reaktor tersebut, suhu bagian bawah paling rendah dibandingkan yang lain dikarenakan kadar air yang terkumpul pada bagian tersebut. Hingga hari ketiga puluh suhu berkisar antara 34°C-37°C. Hal ini belum mencapai tingkat kematangan kompos berdasarkan SNI yaitu suhu air tanah di Indonesia sebesar 30°C.

b) Reaktor 2 (R2) (Penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali)

Pada reaktor 2 dengan penambahan oksigen dan pengadukan, suhu awal pengomposan untuk semua bagian berkisar antara 31°C-34°C. Setiap dilakukan pengadukan 5 hari sekali, suhu pada hari selanjutnya mengalami penurunan. Suhu maksimal terjadi pada hari kedua belas bagian atas. Salah satu dari hasil dekomposisi bahan organik adalah terjadinya panas yang akan meningkat seiring dengan banyaknya jumlah organik yang diuraikan oleh mikroorganismenya (Rabbani *et al.*, 1983).



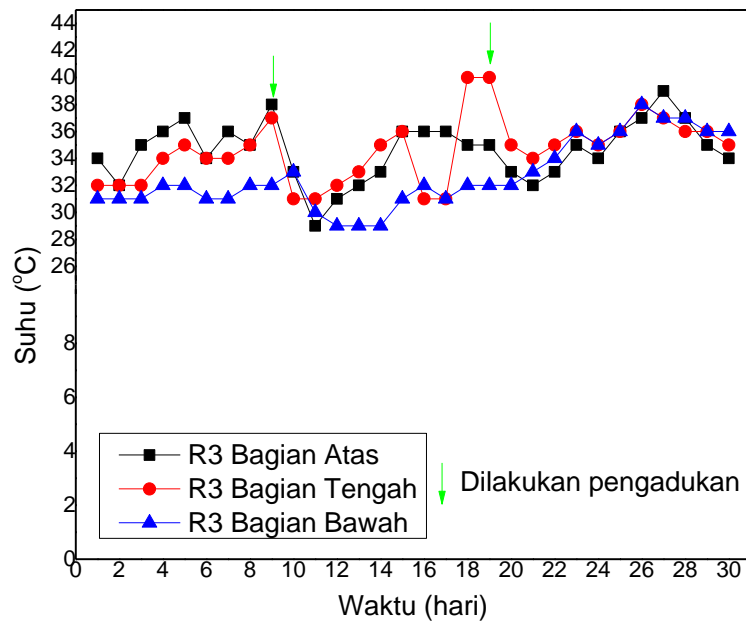
Gambar 4.5 Grafik Perubahan Suhu Reaktor 2

Pengontrolan aerasi harus dapat memelihara temperatur kompos di bawah 60°C-65°C yang menjamin ketersediaan O₂ yang cukup. Diantara ketiga bagian reaktor tersebut, suhu bagian bawah paling rendah dibandingkan yang lain dikarenakan kadar air yang terkumpul pada bagian tersebut. Hingga hari ketiga puluh suhu berkisar antara 32 °C - 37°C.

- c) Reaktor 3 (R3) (Penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali)

Pada reaktor 2 dengan penambahan oksigen lebih banyak dan pengadukan setiap 10 hari sekali, suhu awal pengomposan untuk semua bagian berkisar antara 31°C-34°C sama dengan awal suhu dari reaktor 1. Setiap dilakukan pengadukan 10 hari sekali, suhu pada hari selanjutnya mengalami penurunan. secara drastis dibandingkan dengan pengadukan 5 hari sekali. Hal ini karena suhu terdistribusi secara merata. Suhu maksimal terjadi pada hari kedelapan belas bagian tengah sebesar 40°C.

Diantara ketiga bagian reaktor tersebut, suhu bagian bawah paling rendah dibandingkan yang lain dikarenakan kadar air yang terkumpul pada bagian tersebut. Hingga hari ketiga puluh suhu berkisar secara berurutan 34°C -36°C. Dalam penelitian ini suhu belum mencapai kondisi yang optimal. Suhu dalam proses aerobik seharusnya mencapai keadaan termofilik yang berkisar antara 60°C-70°C selama 24 jam supaya patogen mati (Gotaas, 1978).



Gambar 4.6 Grafik Perubahan Suhu Reaktor 3

4.2.3 Perubahan pH Tumpukan Kompos

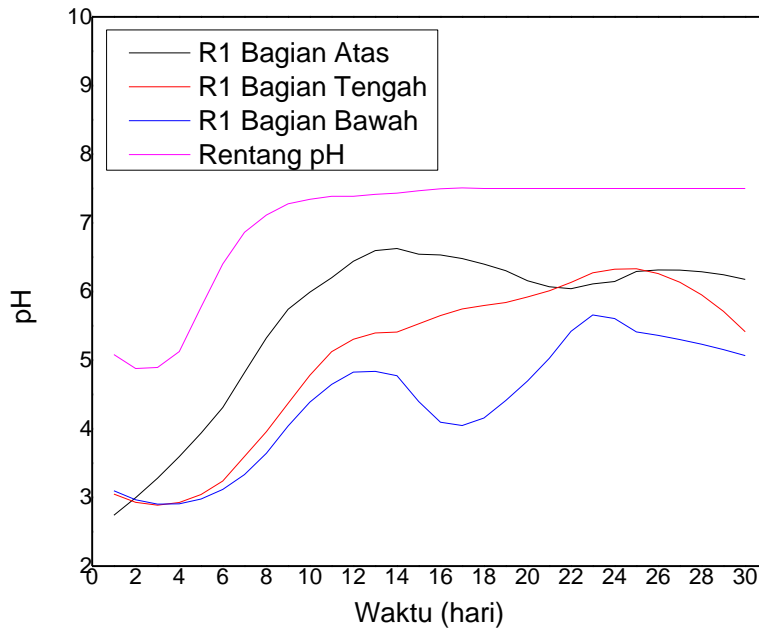
Pengamatan pH merupakan salah satu faktor yang penting bagi mikroorganisme untuk dekomposisi bahan organik yang ada dalam tumpukan. Perubahan pH terjadi karena dekomposisi material organik menghasilkan senyawa amonia dan asam organik. senyawa amonia menyebabkan nilai pH naik, sedangkan asam organik menyebabkan nilai pH turun. pH diukur setiap hari menggunakan alat soil tester karena untuk mendapatkan nilai suhu yang akurat, cepat, dan mudah dengan jumlah reaktor yang banyak. Data didapatkan dari 3 titik yaitu bagian atas, tengah, dan bawah. Kondisi awal pH bahan pengomposan tergolong asam karena selama proses persiapannya terjadinya pembentukan asam organik dari proses degradasi bahan organik (Nugroho *et al.*, 2010). Sebagian besar reaktor memiliki rentang pH akhir berkisar antara 5-6,5. Data selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran C**.

Setiap grafik terdapat rentang pH untuk kematangan kompos menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) yang berkisar antara 7-8. Dalam penelitian Kumar *et al.* (2010) pH akhir dengan bahan baku sampah sisa makanan memiliki nilai pH 3,88 yang dimana belum mencapai kematangan kompos. Nakasaki *et al.* (1993) menyatakan bahwa untuk mencegah tingkat pH turun di bawah 7 dengan jenis sampah sisa makanan perlu ditambahkan kapur. Hal ini untuk mengontrol proses pengomposan terutama di awal pengomposan dalam skala laboratorium. Perbandingan tanpa penambahan kapur, pH tidak terkontrol dengan baik. Secara umum, variasi pH mempengaruhi kinerja pengomposan, tetapi sangat bergantung pada kapasitas buffer aditif dan produksi asam organik dan amonia. Sampah sisa makanan sering memiliki proporsi OM yang tinggi, tambahkan beberapa aditif (misalnya *fly ash*, larutan buffer) untuk mempertahankan pH pada yang diinginkan (Li *et al.*, 2013).

a) Reaktor 1 (R1) (Tanpa penambahan oksigen dan pengadukan)

Pada reaktor 1, pH awal pengomposan untuk semua bagian adalah 3. Nilai pH awal bahan kompos yang asam diakibatkan oleh tingginya kadar C-organik sehingga banyak

terbentuk asam-asam organik. Kadar C-organik di semua reaktor tergolong tinggi karena pengomposan belum berjalan. Hal ini karena mikroorganismenya belum memanfaatkan C-organik sebagai sumber energi. Hari kedua hingga ketujuh pH masih bernilai 3. Sedangkan bagian atas, pada hari kelima mengalami peningkatan menjadi pH 4. Pada hari kedelapan, semua bagian mengalami kenaikan karena terjadi penguraian protein menjadi amonia (Supadharma dan Arthagama, 2008).



Gambar 4.7 Grafik Perubahan pH Reaktor 1

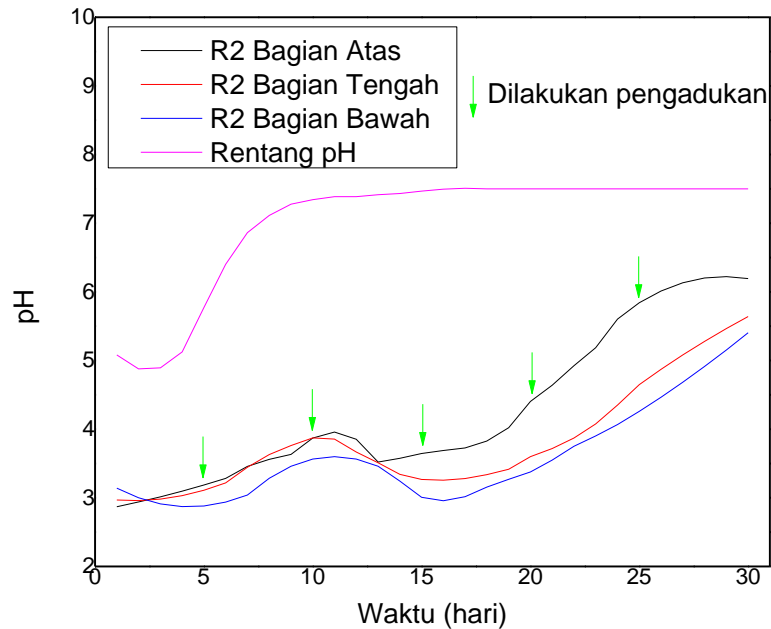
Apabila dilihat secara-rata-rata, pH bagian atas kondisi stabil yaitu 6,5 hingga hari kedelapan belas. Sedangkan bagian tengah dan bawah terjadi fluktuasi pH. Pada hari ketiga puluh, nilai pH belum sesuai dengan SNI yang berkisar antara 5-6. Ketiga bagian tersebut bisa terjadi karena masih terjadi proses degradasi yang menghasilkan asam organik. pH yang lebih tinggi adalah bagian atas karena mendapatkan suplai oksigen melalui lewat tutup reaktor. Sedangkan bagian lain tidak mendapatkan suplai oksigen karena reaktor ini tidak ada perlakuan penambahan oksigen dan pengadukan.

- b) Reaktor 2 (R2) (Penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali)

Pada reaktor 2, pH awal pengomposan untuk semua bagian sama dengan reaktor 1. Nilai pH pada semua bagian berfluktuatif hingga hari kedua puluh. Hal ini disebabkan karena adanya pengadukan 5 hari sekali sehingga semua bagian tercampur rata. Dan masih belum ada peningkatan nilai pH secara signifikan. Penurunan pH terjadi karena proses degradasi masih berlangsung. Sedangkan pada hari kedua puluh satu semua bagian mengalami kenaikan secara terus-menerus.

Ismayana *et al.* (2012) menyatakan bahwa peningkatan nilai pH menandakan adanya peningkatan aktivitas mikroorganismenya dalam mendegradasi bahan organik serta menunjukkan bahwa perombakan bahan organik senyawa karbon menjadi asam organik tidak lagi menjadi proses yang dominan dan telah terjadi pembentukan senyawa amonia

yang dapat meningkatkan nilai pH. Pada hari ketiga puluh, nilai pH belum sesuai dengan SNI yang masih berkisar antara 5,5-6. Dibandingkan dengan reaktor 1, nilai pH reaktor 2 untuk semua bagian lebih baik karena adanya perlakuan penambahan oksigen dan pengadukan.

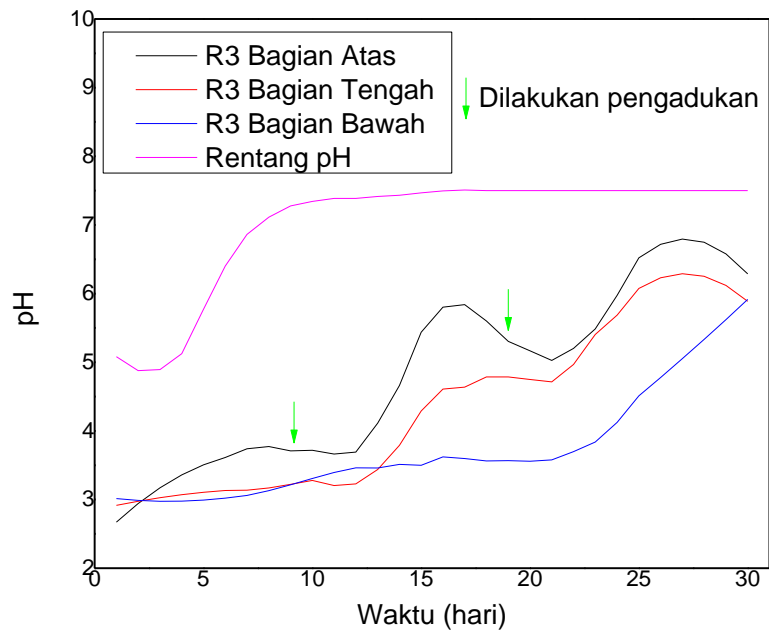


Gambar 4.8 Grafik Perubahan pH Reaktor 2

- c) Reaktor 3 (R3) (Penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali)

Pada reaktor 3, pH awal pengomposan untuk semua bagian sama dengan reaktor 1 dan 2. Nilai pH pada semua bagian berfluktuatif lebih rendah hingga hari kedua puluh daripada reaktor 2. Hal ini disebabkan karena adanya pengadukan lebih sedikit yaitu 10 hari sekali. Setiap pengadukan pH mengalami penurunan karena proses degradasi yang masih berlangsung. pH yang terlalu asam dan basa dapat menghambat reaksi enzimatis pada mikroorganisme (Trihadiningrum, 2012).

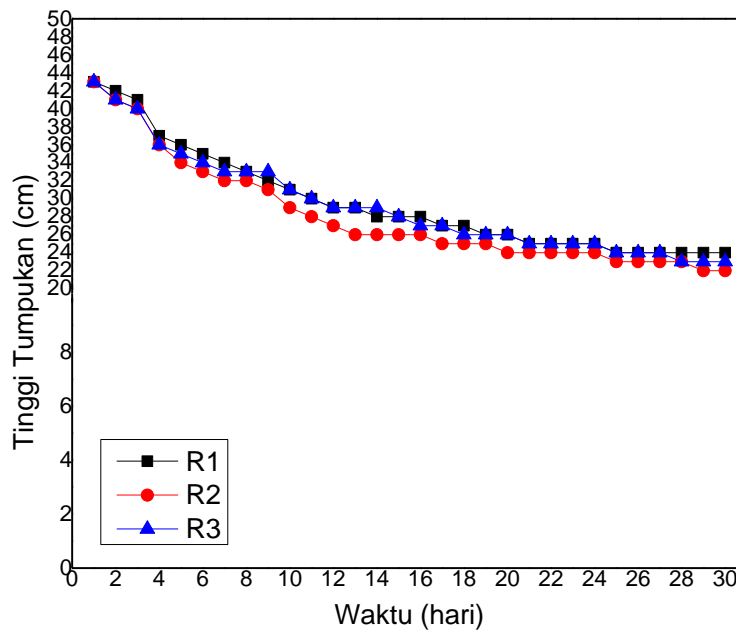
pH bagian atas pada hari kedua puluh enam mencapai pH netral yaitu 7. Peningkatan pH karena bahan organik kompleks diuraikan menjadi asam organik, proses yang terjadi adalah dekomposisi protein dan nitrogen organik yang menghasilkan amonia disertai pelepasan OH⁻ yang dapat menaikkan pH tumpukan (Rao, 1994). Pada hari ketiga puluh, nilai pH lebih baik dibandingkan dengan reaktor lainnya berkisar 5,5-6,5. Tetapi pH ini masih belum sesuai dengan SNI. Sedangkan menurut Miller (1992) pH optimum pengomposan adalah 5,5-8. Nilai pH sangat penting dalam penurunan nitrogen akibat penguapan amonia. Nilai pH reaktor 3 lebih baik karena adanya penambahan oksigen lebih banyak dan pengadukan 10 hari sekali.



Gambar 4.9 Grafik Perubahan pH Reaktor 3

4.2.4 Perubahan Tinggi Tumpukan Kompos

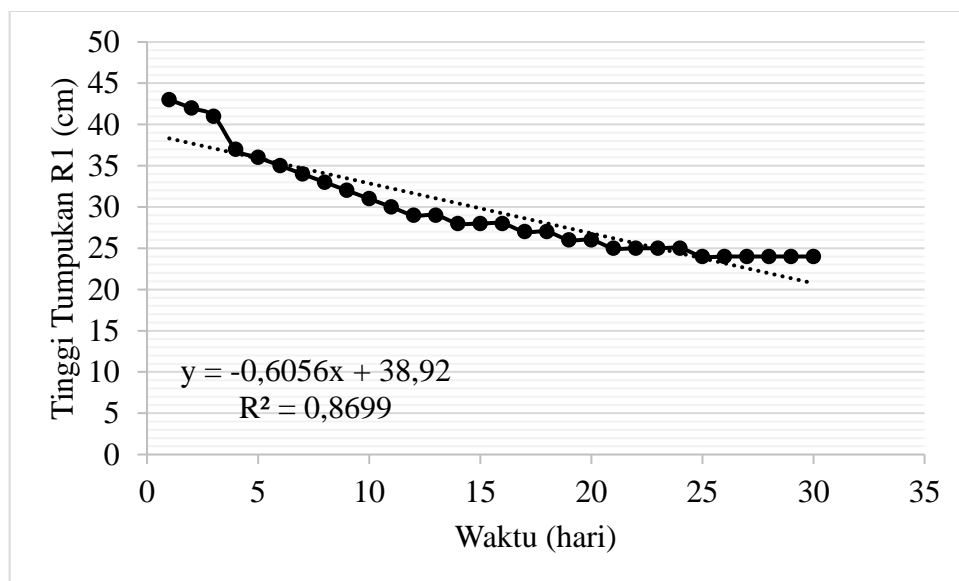
Pengamatan tinggi tumpukan diperlukan untuk mengetahui penyusutan kompos yang berdampak pada proses pengomposan. Tinggi tumpukan diukur setiap hari menggunakan alat meteran. Data didapatkan setiap hari dari setiap reaktor.



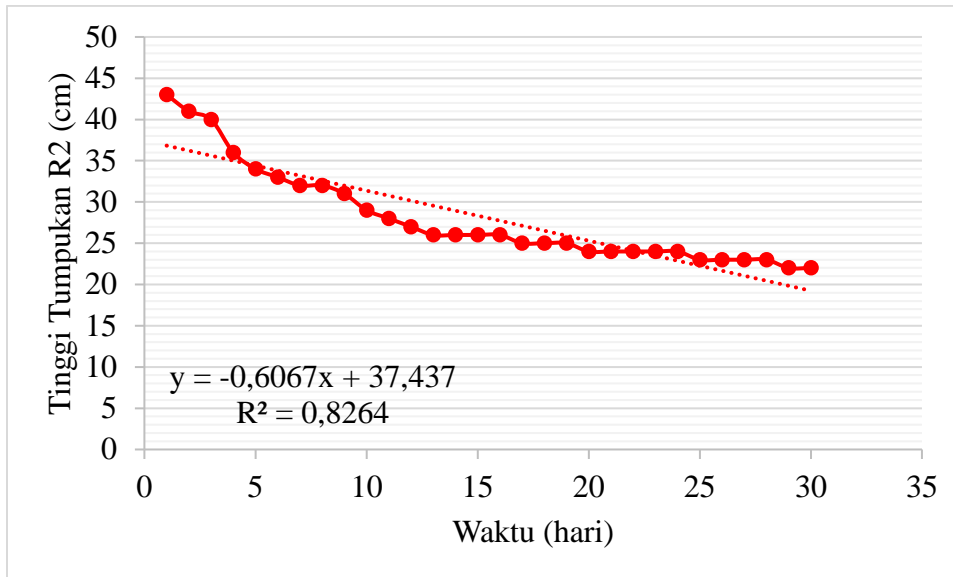
Gambar 4.10 Grafik Perubahan Tinggi Tumpukan Setiap Reaktor

Berdasarkan grafik diatas, tinggi tumpukan setiap reaktor mengalami penurunan hingga hari ketiga puluh. Tinggi tumpukan awal adalah 43 cm untuk setiap reaktor. Pada hari ketiga puluh, setiap reaktor memiliki tinggi yang berbeda-beda. Tinggi tumpukan reaktor 1 sebesar 24 cm. Tinggi tumpukan reaktor 2 sebesar 22 cm karena adanya perlakuan pengadukan 5 hari sekali sehingga penyusutan lebih banyak dibandingkan reaktor yang lain. Tinggi tumpukan reaktor 3 sebesar 23 cm karena pengadukan yang jarang yaitu 10 hari sekali. Tumpukan yang menyusut secara cepat akan berdampak pada suhu yang tidak optimal. Hartati *et al.* (2002) Suhu tidak mencapai optimal karena kadar air yang relatif tinggi sehingga tumpukan cepat menyusut. Tumpukan yang tipis tidak mampu menahan atau mengisolasi panas yang dihasilkan sehingga kalor yang dihasilkan oleh jasad renik dapat mengalir keluar. Selain itu, faktor angin dan penguapan juga mempengaruhi rendahnya suhu kompos.

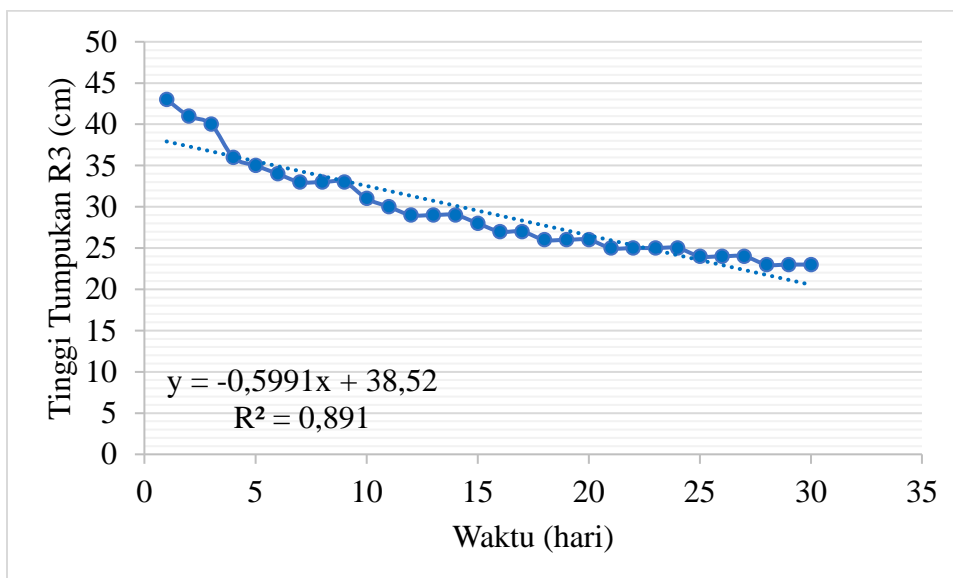
Dalam keadaan suhu kurang optimum, bakteri-bakteri yang menyukai panas tidak akan berkembang secara wajar. Akibatnya pembuatan kompos akan berlangsung lebih lama. Sebaliknya timbunan yang terlampaui tinggi dapat mengakibatkan bahan memadat karena berat bahan kompos itu sendiri. Hal tersebut akan mengakibatkan suhu terlalu tinggi dan udara di dasar timbunan berkurang. Panas yang terlalu banyak juga akan mengakibatkan terbunuhnya mikroba yang diinginkan. Sedangkan kekurangan udara mengakibatkan tumbuhnya bakteri anaerob yang baunya tidak enak. Apabila tinggi tumpukan rendah, kompos tidak mampu menahan atau mengisolasi panas yang dihasilkan sehingga aktivitas mikroba dapat mengalir keluar (Erickson *et al.*, 2003).



Gambar 4.11 Grafik Perubahan Tinggi Tumpukan Reaktor 1



Gambar 4.12 Grafik Perubahan Tinggi Tumpukan Reaktor 2



Gambar 4.13 Grafik Perubahan Tinggi Tumpukan Reaktor 3

Berdasarkan persamaan dari grafik perubahan tumpukan kompos setiap reaktor menunjukkan bahwa untuk kematangan kompos lebih cepat adalah reaktor 3 dengan nilai regresi 0,891. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali.

4.2.5 Perubahan Rasio C/N Tumpukan Kompos

Rasio C/N merupakan faktor penting dalam pengomposan. Dalam pengomposan, karbon digunakan sebagai sumber energi dan nitrogen dibutuhkan mikroorganisme sebagai sumber nutrisi untuk pembentukan sel-sel tubuhnya. Ismayana *et al.* (2012) menyatakan bahwa proses degradasi dalam pengomposan membutuhkan C-organik untuk pemenuhan energi dan pertumbuhan, dan nitrogen untuk pemenuhan protein sebagai zat pembangunan sel bakteri.

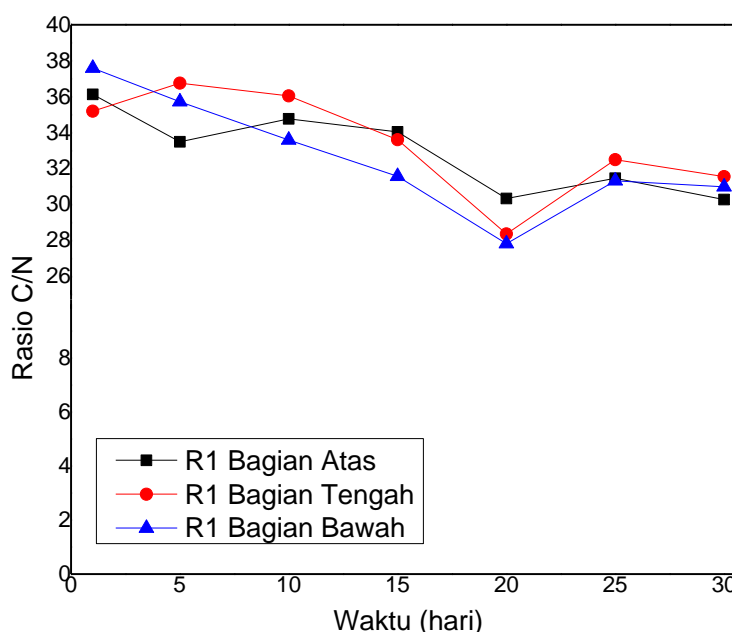
Analisis karbon dilakukan dengan metode gravimetri setiap 5 hari sekali. Analisis total nitrogen dilakukan dengan metode kjeldahl dan spektrofotometri setiap 5 hari sekali.

Sedangkan untuk mendapatkan rasio C/N dilakukan dengan metode perbandingan. Hasil pengamatan yang telah dilakukan untuk semua reaktor rasio C/N menurun. Penurunan karbon yang diikuti dengan meningkatnya nitrogen. Meningkatnya nitrogen merupakan hal yang biasa pada proses pengomposan. Keseluruhan reaktor rasio C/N pada hari ke 1 lebih tinggi yaitu berkisar antara 34,89-37,59. Hari ke 30 mengalami penurunan yaitu berkisar antara 28,58-31,56. Data lengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran C**.

a) Reaktor 1 (R1) (Tanpa penambahan oksigen dan pengadukan)

Pada reaktor 1, rasio C/N awal pengomposan untuk semua bagian berkisar antara 35,19-37,59. Rasio ini tergolong tinggi karena belum adanya proses pengomposan. Hal ini bisa dilihat dari karbon yang masih tinggi berkisar antara 54,85%-54,92%. Dan belum dimanfaatkan oleh mikroorganismenya untuk sumber energi. Sedangkan untuk nitrogen pada bagian bawah tergolong rendah yaitu 1,46%. Hal ini terjadi karena kadar air terlalu tinggi maka nitrat yang dihasilkan akan keluar bersama lindi sehingga nitrogen yang terakumulasi menjadi rendah (Schelgel, 1994). Lindi yang dikeluarkan oleh reaktor 1 lebih banyak dibandingkan reaktor lainnya.

Sebagian besar reaktor 1 untuk semua bagian mengalami penurunan hingga hari ketiga puluh. Pada hari kelima, rasio C/N untuk bagian atas dan bawah mengalami penurunan yaitu secara berturut-turut 33,49 dan 35,73. Untuk karbon mengalami penurunan dan nitrogen mengalami kenaikan. Ahmad *et al.* (2012) mengatakan bahwa peningkatan nitrogen terjadi karena adanya aktivitas mikroorganismenya yang mengubah amonium menjadi nitrat. Pada hari ke-5,10, dan 25 mengalami kenaikan. Diakibatkan karbon yang terlalu tinggi sementara jumlah total N kecil karena sebagian besar total N hilang akibat menguapnya amonia. Kebutuhan total N untuk perkembangan mikroorganismenya kurang dan menyebabkan degradasi lambat. Rasio C/N hari ketiga puluh masih belum sesuai dengan SNI.

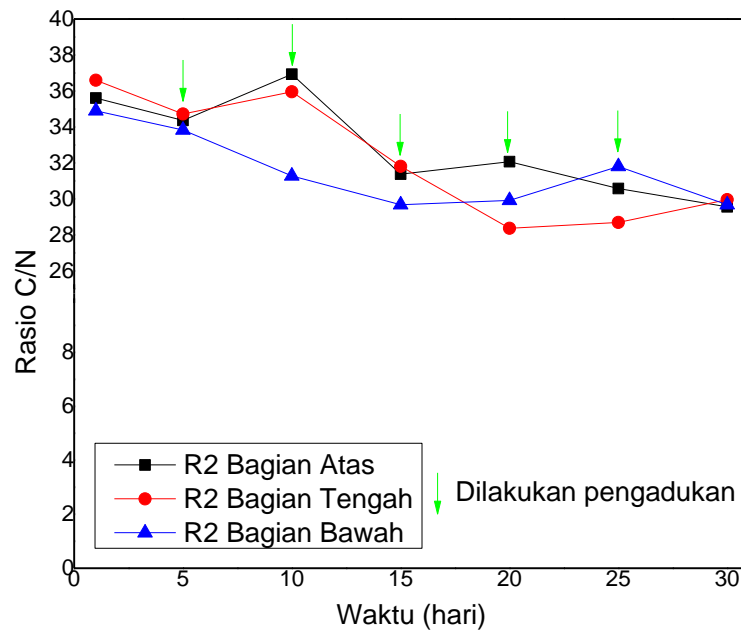


Gambar 4.14 Grafik Perubahan Rasio C/N Reaktor 1

- b) Reaktor 2 (R2) (Penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali)

Rasio C/N pada reaktor 2 dengan penambahan oksigen dan pengadukan sebanyak 5 hari sekali mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena nitrogen dan protein diuraikan menjadi amonia. Terjadi proses nitrifikasi yang mengubah amonia menjadi nitrat. Awal pengomposan rasio C/N berkisar antara 34,89-36,60. Sebagian besar mengalami penurunan namun, pada hari ke-10 dan 20 mengalami kenaikan.

Dibandingkan reaktor 1 tanpa perlakuan, rasio C/N reaktor 2 pada hari ke-30 lebih rendah. Sama halnya dengan reaktor 1, terdapat nitrogen meningkat dan karbon menurun. Rao (1986) menyatakan bahwa karbon dijadikan sebagai sumber energi untuk menyusun bahan sel-sel mikroba dengan membebaskan CO₂ dan bahan-bahan lain yang menguap. Selain itu, CO₂ juga dikonsumsi oleh bakteri nitrifikasi yaitu *nitrobacter* dan *nitrosomonas* karena sifatnya yang *kemoautotrof* dengan memanfaatkan CO₂ sebagai sumber energi sehingga karbon yang terukur mengalami penurunan. Penurunan rasio C/N untuk reaktor 2 dengan penambahan oksigen sebesar 0,5 L udara/menit.kg dan pengadukan sebanyak 5 hari sekali lebih cepat.

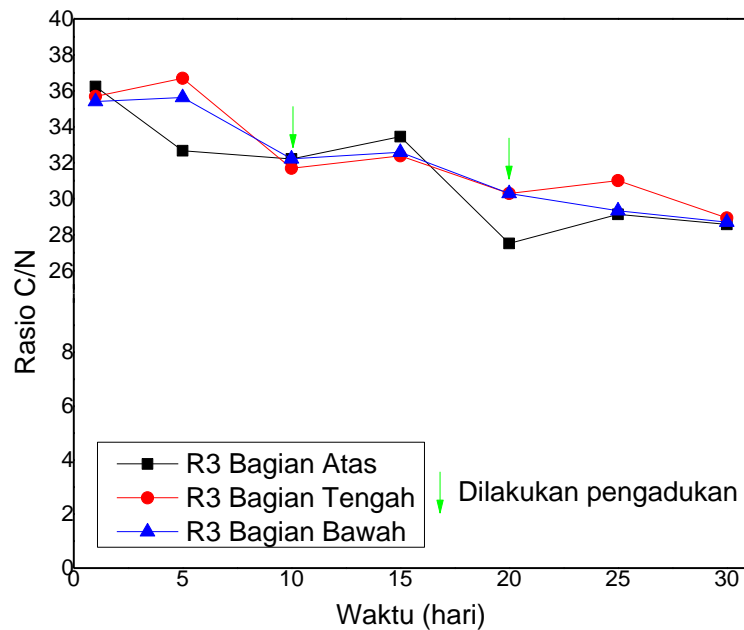


Gambar 4.15 Grafik Perubahan Rasio C/N Reaktor 2

- c) Reaktor 3 (R3) (Penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali)

Rasio C/N pada reaktor 3 dengan penambahan oksigen dan pengadukan sebanyak 10 hari sekali mengalami penurunan yang lebih cepat. Hal ini menandakan adanya proses dekomposisi dalam proses pengomposan. Awal pengomposan rasio C/N berkisar antara 35,40-36,24. Hari ketiga puluh mengalami penurunan berkisar antara 26,58-28,93. Rasio C/N paling rendah yaitu bagian atas, sama halnya dengan reaktor 2. Kenaikan kadar total N hal yang biasa karena bersifat fluktuatif, namun penurunannya tidak terlalu besar sehingga kadar total N dia akhir pengomposan lebih besar.

Rasio C/N telah digunakan secara luas sebagai indikator stabilitas kompos dan diperkirakan akan tetap stabil setelah kompos mencapai kematangannya (Meunchang *et al.*, 2005). Apabila rasio C/N rendah dapat menyebabkan proses pengomposan menjadi lambat karena substrat degradable yang kurang untuk mikroorganisme (Bernal *et al.*, 2009). Perbandingan antar reaktor yang paling baik adalah reaktor 3 karena rasio C/N lebih rendah. Tetapi masih belum sesuai dengan SNI.



Gambar 4.16 Grafik Perubahan Rasio C/N Reaktor 3

4.2.6 Perubahan Konsentrasi Gas CO Tumpukan Kompos

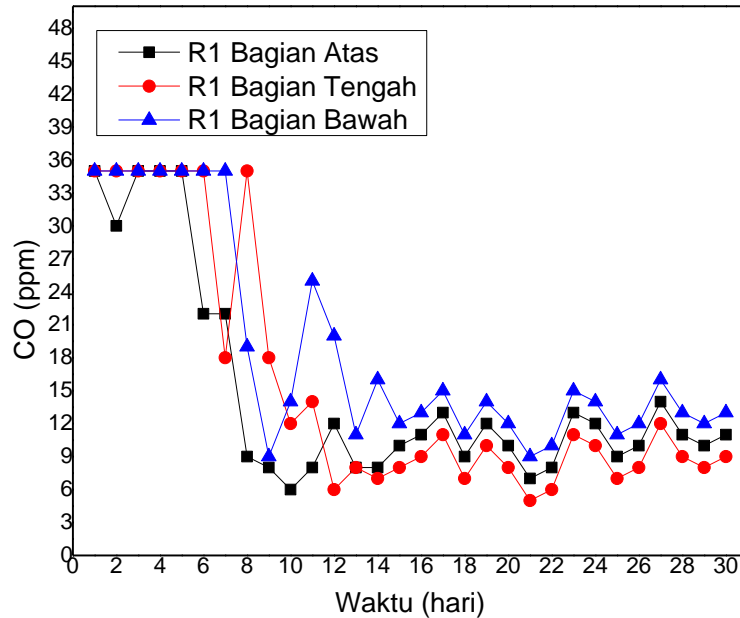
Pengamatan CO merupakan salah satu faktor untuk memastikan emisi yang timbul dari pengomposan. Hal ini untuk memastikan tidak berbahaya bagi lingkungan, dengan resiko keracunan, dan bahkan kematian (Dabrowska *et al.*, 2020). Gas CO diukur setiap hari menggunakan alat *gas detector* karena untuk mendapatkan nilai yang akurat, cepat, dan mudah dengan jumlah reaktor yang banyak. Data didapatkan dari 3 titik yaitu bagian atas, tengah, dan bawah. Kondisi awal CO bahan pengomposan sangat tinggi dimana melebihi batas yaitu 35 ppm. Data selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran C**.

a) Reaktor 1 (R1) (Tanpa penambahan oksigen dan pengadukan)

Pada reaktor 1, konsentrasi gas CO untuk semua bagian sebesar 35 ppm. Nilai tersebut bertahan pada bagian bagian bawah hingga hari ketujuh. Untuk bagian tengah bertahan hingga hari keenam. Sedangkan bagian atas, hari kedua mengalami penurunan. Hal tersebut terjadi karena kadar air yang melimpah sudah turun ke bawah sebagaimana dinyatakan oleh Dabrowska *et al.* (2020) Kadar air atau jenis sampah yang digunakan berdampak pada emisi CO. Konsentrasi CO pada proses pengomposan aerobik jauh lebih besar daripada proses anaerobik.

Pada hari kesepuluh untuk semua bagian, nilai CO berfluktuasi. Hal ini bisa terjadi karena konsentrasi tinggi CO dapat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme yang tinggi dalam bahan yang diuji. Temperatur tinggi yang berlaku di sebagian besar

tumpukan memberikan kondisi optimal untuk kolonisasi dengan mikroorganismenya yang memetabolisme CO, yang dapat dikaitkan dengan penurunan produksi CO (Dabrowska *et al.*, 2020). Pada hari ketiga puluh nilai CO bagian tengah lebih kecil yaitu 9 ppm. Sedangkan nilai CO yang tinggi pada bagian bawah yaitu 13 ppm.

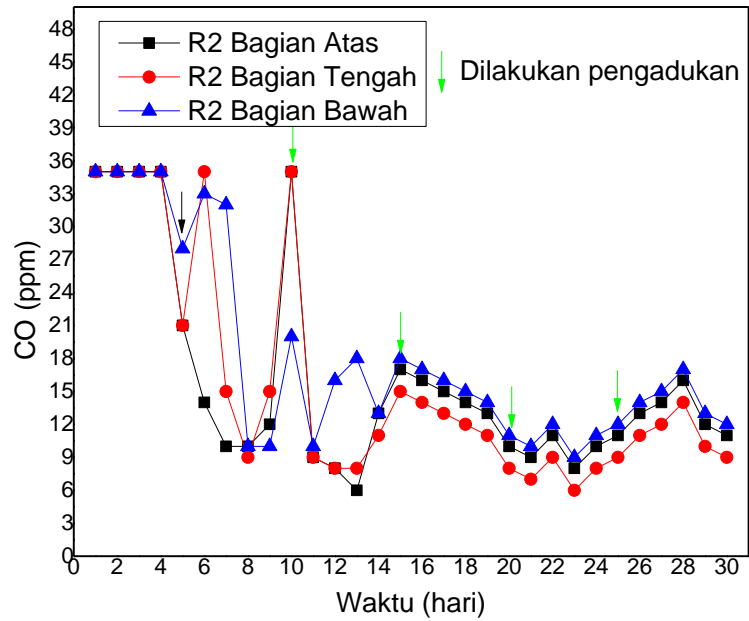


Gambar 4.17 Grafik Perubahan CO Reaktor 1

- b) Reaktor 2 (R2) (Penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali)

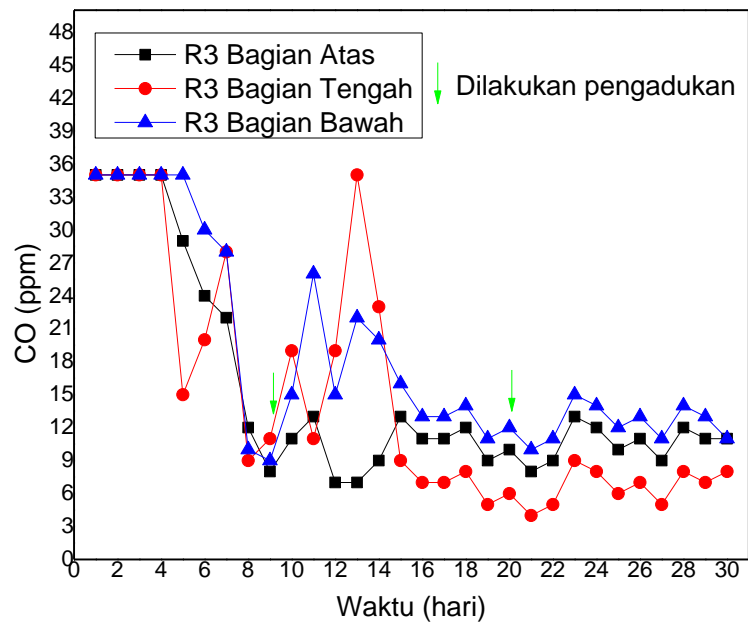
Pada reaktor 2, konsentrasi gas CO untuk semua bagian sebesar 35 ppm. Dibandingkan reaktor 1 penurunan nilai CO lebih cepat. Hal ini karena reaktor 2 terdapat penambahan oksigen dan pengadukan 5 hari sekali. Dabrowska *et al.* (2020) menyatakan bahwa pelepasan CO secara langsung terjadi karena ketersediaan oksigen. Pada hari kesepuluh nilai CO mencapai 35 ppm kembali. Hal ini bisa terjadi karena korelasi yang tinggi antara CO₂ dan CO.

Pembentukan CO mungkin terkait dengan aktivitas respirasi karena CO₂ sebagian besar merupakan produk biologis. Setiap dilakukan pengadukan, nilai CO menurun karena terdistribusi ke semua bagian. Pada hari kelima belas hingga hari ketiga puluh mengalami naik turun yang stabil. Penambahan oksigen secara tidak langsung mempengaruhi aktivitas biologis, kadar air, dan distribusi suhu yang semuanya dapat mempengaruhi pembentukan CO. Nilai CO pada hari ketiga puluh lebih rendah dibandingkan reaktor 1. Bagian bawah paling tinggi dengan nilai 12 ppm dan paling rendah bagian tengah dengan nilai 9 ppm.



Gambar 4.18 Grafik Perubahan CO Reaktor 2

c) Reaktor 3 (R3) (Penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali



Gambar 4.19 Grafik Perubahan CO Reaktor 3

Pada reaktor 3, konsentrasi gas CO untuk semua bagian sama dengan reaktor 1 dan 2. Sama halnya dengan reaktor 2 penurunan nilai CO lebih cepat. Pada hari ketujuh hingga hari ketiga puluh, nilai CO berfluktuasi lebih dibandingkan reaktor 2. Hal ini karena adanya penambahan oksigen lebih besar dan pengadukan 10 hari sekali. Dalam penurunan nilai CO terdapat peran bakteri pada proses pengomposan. Dabrowska *et al.* (2020) menyatakan bahwa produksi CO oleh bakteri yang ditemukan di tumpukan kompos, seperti bakteri metanogenik atau pereduksi sulfat. Karbon monoksida dehidrogenase, enzim yang ada pada bakteri metanogenik dapat bertindak sebagai mediator dalam reduksi CO₂ menjadi CO, tetapi juga dapat menjadi katalis dalam reaksi balik dimana CO dioksidasi menjadi CO₂.

Pada hari ketiga puluh, nilai CO lebih rendah dibandingkan yang lain. Bagian atas bawah paling tinggi dengan nilai 11. Sedangkan paling rendah pada bagian tengah dengan nilai 8 ppm. Hal ini dapat ditinjau dari suhu yang lebih rendah menghasilkan produksi CO termokimia yang lebih rendah. Dalam reaktor 3, tingkat aerasi yang lebih tinggi menghasilkan akumulasi CO yang lebih rendah dibandingkan reaktor lain

4.3 Kelimpahan Mikroorganisme dengan Metode Total Plate Count (TPC)

Penentuan kelimpahan mikroorganisme dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain; TPC, perhitungan langsung, *membrane filter*, cara kimia, berat kering, dan volume sel. Pada penelitian ini dilakukan dengan metode TPC. Metode TPC dilakukan untuk mengetahui jumlah bakteri dan bentuk koloni bakteri yang diisolasi. Bakteri ditumbuhkan pada media agar datar dalam cawan petri dan dilakukan pengamatan banyaknya bakteri selama 24 jam. Mailoa *et al.* (2014) menyatakan bahwa prinsip dari metode TPC adalah perhitungan jumlah koloni bakteri yang ada dalam sampel dengan pengenceran sesuai kebutuhan. Semua pekerjaan dilakukan secara aseptik untuk mencegah kontaminasi yang tidak diinginkan dan cawan petri yang dapat dihitung memiliki koloni bakteri sekitar 30-300 koloni. Cawan petri, tabung reaksi, dan pipet sebelum digunakan disterilkan terlebih dahulu pada *autoclave* dengan suhu 180° selama 2 jam. Analisis kelimpahan mikroorganisme dilakukan untuk mengetahui jumlah kisaran bakteri yang hidup dalam setiap reaktor. Pengamatan dilakukan pada hari ke-5, ke-15, dan ke-30. Data lengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran C**.

Pada hari ke-5, kelimpahan mikroorganisme seluruh reaktor berkisar antara (112×10^5 – 213×10^6) CFU/gram. Kelimpahan mikroorganisme terendah dari semua reaktor adalah reaktor kontrol R1 (tanpa penambahan oksigen dan pengadukan) sebesar 112×10^5 CFU/gram bagian tengah. Pada reaktor kontrol kelimpahan mikroorganisme terbesar pada bagian atas 145×10^6 CFU/gram. Pada reaktor uji R2 (Penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali), kelimpahan mikroorganisme terbesar pada bagian atas sebesar 176×10^6 CFU/gram. Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah pada bagian tengah sebesar 115×10^6 CFU/gram. Pada reaktor uji R3 (Penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali), kelimpahan mikroorganisme terbesar pada bagian atas sebesar 213×10^6 CFU/gram. Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah pada bagian tengah sebesar 167×10^5 CFU/gram.

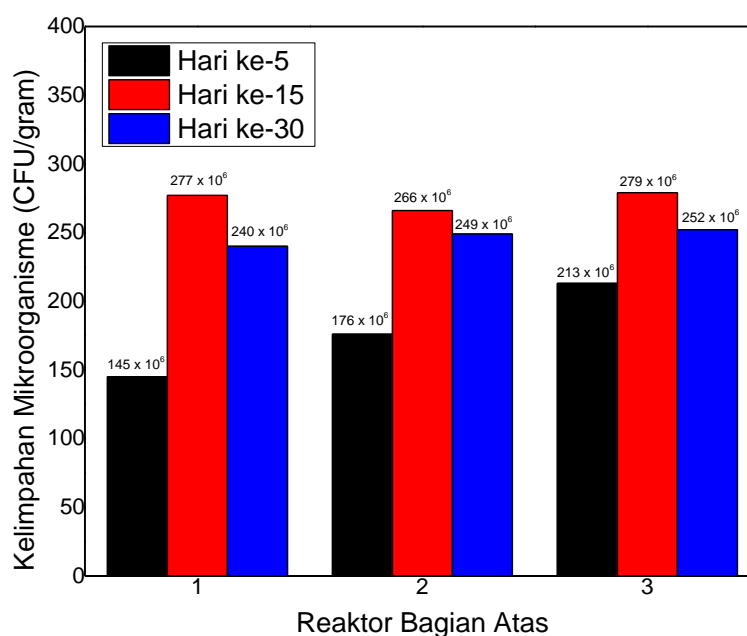
Pada hari ke-15, kelimpahan mikroorganisme seluruh reaktor mengalami kenaikan berkisar antara (199×10^5 – 279×10^5) CFU/gram. Kelimpahan mikroorganisme terendah dari semua reaktor adalah reaktor kontrol R1 (tanpa penambahan oksigen dan pengadukan) sebesar 199×10^5 CFU/gram bagian tengah. Pada reaktor kontrol kelimpahan mikroorganisme terbesar pada bagian atas 277×10^6 CFU/gram. Pada reaktor uji R2 (Penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali), kelimpahan mikroorganisme terbesar pada bagian atas sebesar 266×10^6 CFU/gram. Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah pada bagian tengah sebesar 199×10^5 CFU/gram. Pada reaktor uji

R3 (penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali), kelimpahan mikroorganisme terbesar pada bagian atas sebesar 279×10^5 CFU/gram. Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah pada bagian tengah sebesar 215×10^5 CFU/gram.

Peningkatan kelimpahan mikroorganisme menunjukkan bahwa terjadinya aktivitas metabolisme. Semakin besar kenaikannya maka semakin cepat proses dekomposisi terjadi dalam proses komposting (Hanafi *et al.*, 2014). Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan C-organik selama proses pengomposan. Sari *et al.* (2015) menyatakan bahwa karbon dijadikan sumber energi untuk menyusun bahan selular sel-sel mikroba dengan membebaskan CO₂ dan bahan lain yang mudah menguap.

Pada hari ke-30 kelimpahan mikroorganisme seluruh reaktor mengalami penurunan berkisar antara ($156 \times 10^6 - 252 \times 10^6$) CFU/gram. Pengamatan semua reaktor, kelimpahan mikroorganisme terendah adalah reaktor kontrol R1 (tanpa penambahan oksigen dan pengadukan) sebesar 156×10^6 CFU/gram bagian tengah. Kelimpahan mikroorganisme tertinggi pada bagian atas sebesar 240×10^6 CFU/gram. Diantara semua reaktor, kelimpahan mikroorganisme tertinggi adalah reaktor uji R3 (penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali) sebesar 252×10^6 CFU/gram bagian atas. Sedangkan terendah pada bagian tengah sebesar 199×10^6 CFU/gram. Pada reaktor uji R2 (Penambahan oksigen sebesar 1 L udara/menit.kg dan pengadukan 5 hari sekali), kelimpahan mikroorganisme terbesar pada bagian atas sebesar 194×10^6 CFU/gram. Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah pada bagian tengah sebesar 249×10^5 CFU/gram. Berikut ini adalah grafik perubahan kelimpahan mikroorganisme setiap reaktor untuk setiap bagian.

a) Reaktor 1, 2, dan 3 bagian atas

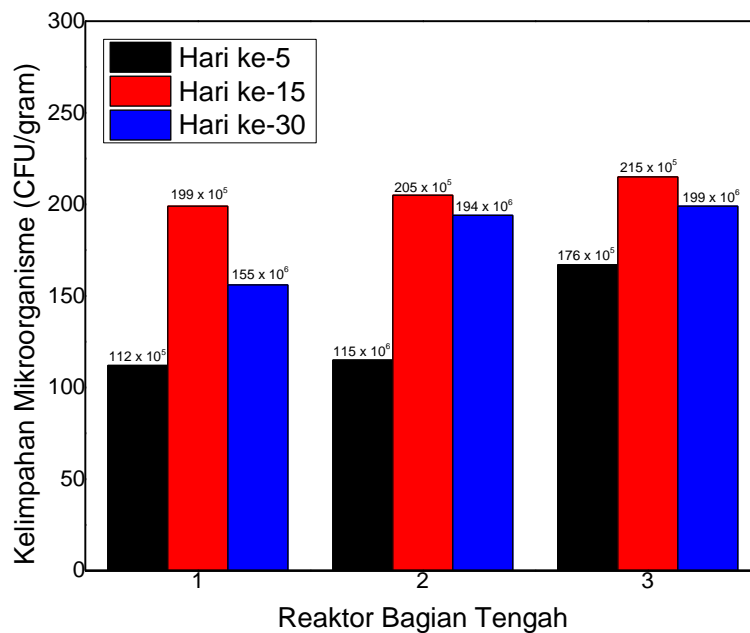


Gambar 4.20 Kelimpahan Mikroorganisme Reaktor 1, 2, dan 3 Bagian Atas

Untuk bagian atas, kelimpahan mikroorganisme terendah dari keseluruhan reaktor adalah reaktor 1 sebesar 145×10^6 CFU/gram pada hari ke-5. Sedangkan untuk kelimpahan mikroorganisme tertinggi adalah reaktor 3 sebesar 279×10^6 CFU/gram pada hari ke-15. Pengamatan ketiga hari tersebut, untuk semua reaktor kelimpahan mikroorganisme tertinggi terjadi pada hari ke-15 berkisar antara ($266 \times 10^6 - 279 \times 10^6$) CFU/gram. Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah terjadi pada hari ke-5 yang berkisar antara ($145 \times 10^6 - 213 \times 10^6$) CFU/gram.

b) Reaktor 1, 2, dan 3 bagian tengah

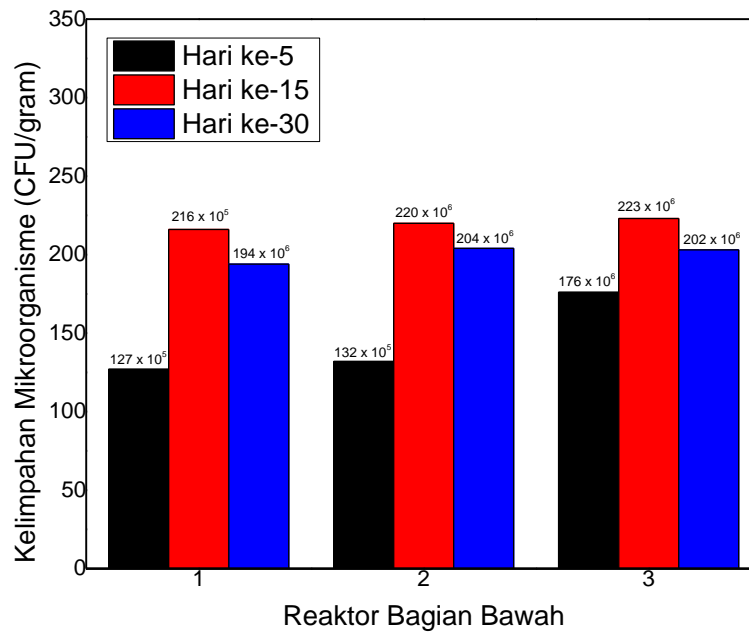
Sama halnya dengan bagian atas, kelimpahan mikroorganisme tertinggi terjadi pada hari ke-15 berkisar antara ($199 \times 10^5 - 215 \times 10^5$) CFU/gram. Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah terjadi pada hari ke-5 yang berkisar antara ($112 \times 10^5 - 176 \times 10^5$) CFU/gram. Untuk bagian tengah, kelimpahan mikroorganisme terendah dari keseluruhan reaktor adalah reaktor 1 sebesar 112×10^5 CFU/gram pada hari ke-5. Sedangkan untuk kelimpahan mikroorganisme tertinggi adalah reaktor 3 sebesar 215×10^5 CFU/gram pada hari ke-15.



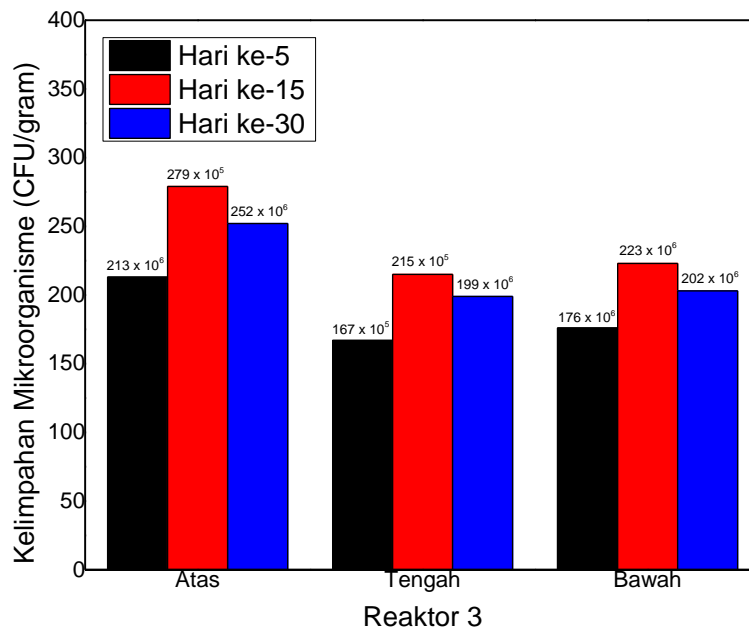
Gambar 4.21 Kelimpahan Mikroorganisme Reaktor 1, 2, dan 3 Bagian Tengah

c) Reaktor 1, 2, dan 3 bagian bawah

Kelimpahan mikroorganisme bagian bawah tertinggi terjadi pada hari ke-15 berkisar antara ($216 \times 10^5 - 223 \times 10^6$) CFU/gram. Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah terjadi pada hari ke-1 yang berkisar antara ($127 \times 10^5 - 176 \times 10^6$) CFU/gram. Untuk bagian bawah, kelimpahan mikroorganisme terendah dari keseluruhan reaktor adalah reaktor 1 sebesar 127×10^5 CFU/gram pada hari ke-5. Sedangkan untuk kelimpahan mikroorganisme tertinggi adalah reaktor 3 sebesar 223×10^6 CFU/gram pada hari ke-15.



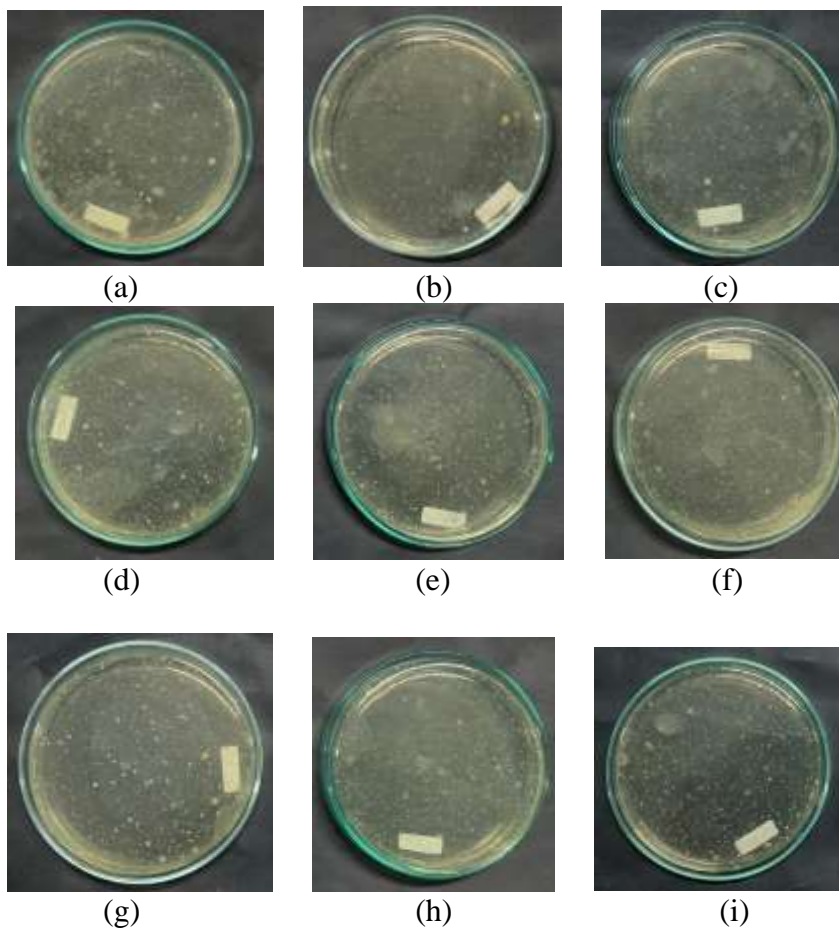
Gambar 4.22 Kelimpahan Mikroorganisme Reaktor 1, 2, dan 3 Bagian Bawah



Gambar 4.23 Kelimpahan Mikroorganisme Reaktor 3

Diantara ketiga reaktor tersebut, kelimpahan mikroorganisme terbanyak adalah reaktor 3 dengan penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/menit.kg dan pengadukan 10 hari sekali.

Jumlah mikroorganisme yang terlibat selama proses pengomposan akan berpengaruh terhadap kecepatan dekomposisi. Pada umumnya semua perlakuan jumlah mikroorganisme turun pada akhir pengomposan karena perannya telah digantikan oleh *Actinomyces*. Jenis tersebut hidup pada akhir proses pengomposan dan akan menghasilkan antibiotik yang menghambat perkembangan mikroorganisme sehingga jumlah akan semakin berkurang (Hanafi *et al.*, 2014). Kematangan kompos tercepat terjadi pada reaktor 3 karena sebagaimana dinyatakan oleh Isroi (2007) Pengomposan yang cepat dibutuhkan pasokan oksigen yang cukup karena dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Grafik dari reaktor 3 dapat dilihat pada **Gambar 4.23** dan hasil gambar analisis TPC dapat dilihat pada **Gambar 4.24**.



Gambar 4.24 Analisis TPC Reaktor 3

Keterangan: hari, reaktor, dan bagian

(a)5R3A; (b)5R3T; (c)5R3B

(d)15R3A; (e)15R3T; (f)15R3B

(g)30R3A; (h)30R3T; (i)30R3B

Kelimpahan mikroorganisme dapat dihitung menggunakan *digital colony counter*. Dapat dilihat secara langsung dari **Gambar 4.24** perbedaan kelimpahan mikroorganisme yang terdapat pada media terlihat jelas. Secara keseluruhan kelimpahan mikroorganisme tertinggi untuk reaktor 3 terjadi pada hari ke-15. Sedangkan, kelimpahan mikroorganisme terendah pada hari ke-5 dikarenakan mikroorganisme belum secara aktif mendegradasi bahan organik. Apabila ditinjau dari **Gambar 4.24** diantara ketiga bagian tersebut. Kelimpahan mikroorganisme tertinggi adalah bagian atas pada hari ke-15 dengan jumlah sebesar 279×10^5

CFU/gram. Dapat ditunjukkan pada gambar dengan keterangan (d). Sedangkan kelimpahan mikroorganisme terendah adalah bagian tengah pada hari ke-5 dengan jumlah sebesar 167×10^5 CFU/gram. Dapat ditunjukkan pada gambar dengan keterangan (b).

4.4 Kualitas Akhir Kompos

Kondisi ideal pengomposan aerobik membutuhkan 10-30 hari (Polprasert, 1989). Hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Kualitas Akhir Kompos

Parameter	Kadar air (%)	Suhu (°C)	pH	Karbon (%)	Nitrogen (%)	Rasio C/N
SNI 19-7030-2004	Maks 50	Maks 30	6,8-7,49	9,80-32	Min 0,40	10-20
R1 bagian atas	75,6	34	6	54,16%	1,79%	30,28
R1 bagian tengah	76	36	5,5	54,37%	1,72%	31,56
R1 bagian bawah	76,8	37	5	54,07%	1,74%	31,00
R2 bagian atas	78	36	6	54,64%	1,85%	29,56
R2 bagian tengah	77,8	37	5,5	54,69%	1,82%	29,96
R2 bagian bawah	78	32	5,5	54,69%	1,84%	29,67
R3 bagian atas	78	34	6,5	54,55%	1,91%	28,58
R3 bagian tengah	76,8	35	6	54,75%	1,89%	28,93
R3 bagian bawah	75,3	36	5,5	54,62%	1,90%	28,70

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Produk akhir dari penelitian ini adalah kompos. Dalam penelitian ini kualitas kompos yang dihasilkan selama 30 hari masih belum memenuhi SNI 19-7030-2004. Apabila ditinjau dari perlakuan yang berbeda dari ketiga reaktor tersebut bahwa kualitas kompos reaktor ketiga (penambahan oksigen sebesar 1,5 L dan pengadukan 10 hari sekali) lebih baik dibandingkan dengan reaktor lainnya. Kadar air, suhu, dan pH lebih mendekati peraturan dibandingkan dengan reaktor kedua. Namun untuk rasio C/N lebih tinggi dibandingkan reaktor 2 tetapi, untuk rasio C/N yang diamati masih pada hari ke-1 dan ke-5.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan oksigen dan pengadukan berpengaruh terhadap laju kematangan kompos sampah sisa makanan. Dapat dilihat dari parameter kadar air, suhu, pH, tinggi tumpukan, CO, dan rasio C/N. Reaktor yang lebih cepat adalah reaktor 3 dengan penambahan oksigen sebesar 1,5 L udara/m.kg dan pengadukan 10 hari sekali.
2. Hasil kelimpahan mikroorganisme pada setiap reaktor menggunakan metode TPC terdapat perbedaan yang signifikan. Pada reaktor 3 kelimpahan mikroorganisme yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan yang lain. Kelimpahan mikroorganisme terbesar pada hari ke-15 bagian atas sebesar 279×10^5 CFU/gram. Hal ini menunjukkan bahwa proses kematangan lebih cepat dibandingkan reaktor lain
3. Ditinjau dari perlakuan yang berbeda, kualitas kompos yang paling baik adalah reaktor 3 (penambahan oksigen sebesar 1,5 L dan pengadukan 10 hari sekali). Hasil yang diperoleh untuk semua bagian yaitu kadar air berkisar antara 75,3%-78%, suhu berkisar antara 34°C-36°C; pH berkisar antara 5,5-6,5; karbon berkisar antara 54,55%-54,75%; nitrogen berkisar antara 1,89%-1,91%; dan rasio C/N berkisar antara 28,58-28,93.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Penelitian perlu dilanjutkan dengan penambahan variasi material lain yang dapat membantu proses pengomposan untuk mendapatkan hasil pengomposan yang sesuai dengan SNI.
2. Adanya penelitian terpisah antara pengaruh penambahan oksigen dan perlakuan pengadukan untuk membandingkan hasil perbedaannya.
3. Perlu diukur parameter lain seperti kalium, fosfor, dan ikat air untuk membandingkan lebih jauh kualitas kompos yang dihasilkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Awasthi, S.K., Sarsaiyab, S., Awasthi, M.K., dan Zhao, J., 2020. "Changes in global trends in food waste composting: Research Challenges and Opportunities". **Bioresource Technology** 299, 122555.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2000. Model Pengelolaan Persampahan Perkotaan.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik. Jakarta.
- Bernal, M.P., Albuquerque, J.A., dan Moral, R. 2009. Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment A Review. **Bioresource Technology** 100: 5444-5453.
- Bond, M., Meacham, T., Bhunoo, R., dan Benton, T.G. 2013. Food waste within global food system. **A Global Food Security Report**.
- Center for Indonesian Medical Students' Activities Universitas Indonesia. 2020. Food Waste dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan, <<https://cimsa.ui.ac.id/2020/11/09/food-waste-dan-pengaruhnya-terhadap-lingkungan/>>.html>
- Dabrowska, S.S., Randerson, P.F., Christofides, S.R., dan Bialowiec, A. 2020. Carbon Monoxide Formation during Aerobic Biostabilization of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste: The Influence of Technical Parameters in a Full-Scale Treatment System. **Energies** 13, 5624.
- Dalzell, H.W., Biddlestone, A.J., Gray, T. 1987. Soil Management: Compost Production and Use in Tropical and Subtropical Environments. Soil Bulletin 56. **Food and Agriculture Organization of United Nations**.
- Dhokhikah, Y., Trihadiningrum, Y., dan Sunaryo, S., 2015. "Community participation in household solid waste reduction in Surabaya, Indonesia". **Resources, Conservation and Recycling** 102, 153–162.
- Erickson, M., Critzer, F., dan Doyle, M. 2003. Composting Criteria for Animal Manure. **Georgetown University: Produce Safety Project**.
- Gajalakshmi, S., dan Abbasi, S.A. 2008. Solid Waste Management by Composting: State of The Art. **Environmental Science Technology** 38: 311-400.
- Gotaas, H.B. 1978. Composting World Health Organization. Geneva
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R.V. dan Meybeck, A. 2011. Global Food Losses and Food Waste – Extent, Causes and Prevention, Rome, Italy: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**.
- Hanafi, Y., Yulipriyanto., dan Octavia, B. 2014. Pengaruh Penambahan Air Lindi terhadap Laju Dekomposisi Sampah Daun yang Dikomposkan dalam Vessel. **Jurnal Bioedukatika** 1, 2: 28-33.
- Heo, H.S., Kim, S.G., Jeong, K.-E., Jeon, J.-K., Park, S.H., Kim, J.M., Kim, S.-S., Park, dan Y.-K., 2011. "Catalytic upgrading of oil fractions separated from food waste leachate". **Bioresource Technology** 102, 4: 3952–3957.
- Ismayana, A., Indrasti, N.S., Suprihatin, A., Maddu, A., dan Fredy. 2012. Faktor Rasio C/N Awal dan Laju Aerasi pada Proses Co-Composting Bagasse dan Blotong. **Jurnal Teknologi Industri Pertanian** 22, 3: 173-179.
- Isroi. 2007. Pengomposan Limbah Kakao, Pelatihan TOT Budidaya Kopi dan Kakao. Jember.
- Kumar, M., Liang, Y., dan Lin, Jih-Gaw. 2010. Co-Composting of Green Waste and Food Waste at Low C/N Ratio. **Waste Management** 30: 602-609.
- Li, Z., Lu, H., Ren, L. dan He, L. 2013. Experimental and Modeling Approaches for Food Waste Composting: A Review. **Chemosphere** 93: 1247-1257.

- Mailoa, M.N., Alfonsina, M.T., dan Theodora, E.A.A.M. 2017. Analysis Total Plate Count (TPC) ON Fresh Steak Tuna Applications Edible Coating Caulerpa sp During Stored at Chilling Temperature. **Earth and Environmental Science** 89: 1-3.
- Malinska, K., Zabochnicka-Swiatek, M., dan Dach, J., 2014. "Effects of biochar amendment on ammonia emission during composting of sewage". **Ecological Engineering** 71, 474 – 478.
- Miller, F.C. 1992. Composting as A Process Based on The Control of Ecologically Selective Factors. Meeting F.B.Jr. (Ed) Soil Microbial Ecology, Applications in Agricultural and Environment Management. New York: **Marcel Dekker, Inc.**
- Mulyani. 1991. Mikrobiologi Tanah. Rineka Cipta. Jakarta.
- Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., dan Kubota, H. 1993. Effect of pH Control on Composting of Garbage . **Waste Management** 11: 117-125.
- Nolan, T., Troy, S.M., Healy, M.G., Kwapinski, W., Leahy, J.J., dan Lawlor, P.G. 2011. Characterization of Compost Produced from Separated Pig Manure and A Variety of Bulking Agents at a Low Initial C/N Ratios. **Bioresources Technology** 102: 7131-7138.
- Nugroho, J., Bintoro, N.S., dan Nurkayanti, T. 2010. Pengaruh Variasi Jumlah dan Jenis Bulking Agent pada Pengomposan Limbah Organik Sayuran dengan Komposter Mini. Purwokerto: **Prosiding Seminar Nasional Perteta.**
- Pandebesie, E.S., dan Rayuanti, D. 2013. "Pengaruh Penambahan Sekam pada Proses Pengomposan Sampah Domestik". **Jurnal Lingkungan Tropis** 6, 1: 31-40.
- Pandey, S.C., Pandey, A., Joshi, T., Pande, V., Sati, D. dan Samant, M. 2019. "Microbiological Monitoring in the Biodegradation of Food Waste". **IGI Global.**
- Polprasert, C. 1989. Organic Waste Recycling. Thailand: **Asian Institute of Technology Bangkok.**
- Paulin, R., dan O'Malley, P. 2008. Compost Production and Use in Horticulture. South Pert: **Department of Agriculture and Food.**
- Rabbani, K.R., Jindal, R., Kubota, H., dan Obeng, L. 1983. Composting of Domestic Refuse: Environmental Sanitation Information Center. Bangkok: Thailand.
- Rao, N.S.S. 1994. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Jakarta: **Universitas Indonesia.**
- Ruggieri, L., Gea, T., Artola, A. dan Sanchez, A. 2009. "Air Filled Porosity Measurements by Air Pycnometry in the Composting Process: A Review and A Correlation Analysis". **Bioresource Technology** 100, 10: 2655-2666.
- Rynk, R., Kamp, M.V.D., Wilson, G.B. Singley, M.E., Richard, T.L., Kolega, J.J., Gouin, F.R., Jr, L.L., Kay, D., Murphy, D.W., Hoitink, H.A.J., dan Brinton, W.F. 1992. On-Farm Composting Handbook Ithaca, NY: **Northeast Regional Agricultural Engineering Service.**
- Sari, G.L., Mizwar, A., dan Trihadiningrum, Y. 2015. Pengaruh Tanah terhadap Proses Biodegradasi Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) pada Tanah Terkontaminasi Batubara. **Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah** 8, 1: 31-38.
- Schelgel, H.G., dan Karin, S. 1994. Mikrobiologi Umum 6th edition. Yogyakarta: **Gajah Mada University Press.**
- Schoss, P.D., Chaves, B., dan Walker, L. P. 1999. "The use of the analysis of variance to assess the influence of mixing during composting". **Process Biochemistry** 35, 2000: 675–684.
- Simanungkalit, R., Purwanti, I.F., Saraswati, R., Setyorini, D., dan Hartatik, W. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Bogor: **Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.**

- Smårs, S., Gustafsson, L., Beck-Friis, B., dan Jönsson, H. 2002. "Improvement of the Composting Time for Household Waste During an Initial Low pH Phase by Mesophilic Temperature Control". **Bioresource Technology** 84, 3: 237-241.
- Soeleman, S., dan Rahayu, D. 2013. Halaman Organik. Jakarta Selatan: **PT Agromedia Pustaka**.
- Stoffela, P.J., dan Kahn, B.A. 2001. Compost Utilization in Horticultural Cropping System. Boca Raton: **Lewis Publisher**.
- Slorach, P.C., Jeswani, H.K., Cuéllar-Franca, R., dan Azapagic, A., 2019. "Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy". **Science of the Total Environment** 693, 133516.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. 2018. Data Pengelolaan Sampah: Komposisi Sampah, [URL:https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/html](https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/html)
- Supadama, A.A.N., dan Arthagama, D.M. 2008. Uji Formulasi Kualitas Pupuk Kompos yang Bersumber dari Sampah Organik dengan Penambahan Limbah Ternak Ayam, Sapi, Babi, dan Tanaman Pahitan. **Bumi Lestari** 8, 2: 113-121.
- Tamuluru, J.S., dan Heikkila, D.J. 2019. Biomass Grinding Process Optimization Using Response Surface Methodology and a Hybrid Genetic Algorithm. **Bioengineering** 6, 12: 1-21.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S.A. 1993. Integrated Solid Waste Management. Singapore: Mc. **Grawhill International Edition**.
- Trihadiningrum, Y. 2012. Mikrobiologi Lingkungan. Surabaya: **ITS Press**.
- United States Environmental Protection Agency. 2021. Types of Composting and Understanding the Process, <URL:<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/types-composting-and-understanding-process.html>>
- Wang, X., Wen, W., Pan, S., Lin, X., dan Chen, S., 2016. "Influence of conditioner proportional aerobic composting of food waste and microbial characteristics". **China Journal Environmental Engineering** 10, 6:3215–3222.
- Widarti, B.N., Wardhini, W.K, dan Sarwono, E. 2015. "Pengaruh Rasio C/N Bahan Baku pada Pembuatan Kompos dari Kubis dan Kulit Pisang". **Jurnal Integrasi Proses** 5, 2: 75-80.
- Yenie, E., dan Komalasari. 2011. "Pembuatan Kompos dari Sampah Sayuran: Parameter Suhu dan Waktu Pembalikan". **Prosiding SNTK TOPI**. PKRL09:35-42.
- Zhang, L., dan Sun, X. 2016. "Improving Green Waste Composting by Addition of Sugarcane Bagasse and Exhausted Grape Marc". **Bioresource. Technology** 218, 335-343.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

A.1 Analisis C-organik (Gravimetri)

Alat:

- Cawan porselen
- Neraca analitik
- *Furnace* dengan suhu 550°C
- Oven dengan suhu 105°C
- Desikator

Prosedur Analisis:

1. Cawan dimasukkan ke *furnace* 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
2. Dinginkan cawan dalam desikator selama 15 menit.
3. Timbang cawan dengan neraca analitik.
4. Ambil sampel yang sudah dikeringkan dalam oven selama 24 jam dan masukkan ke cawan yang telah ditimbang.
5. Timbang cawan yang berisi sampel kering dengan timbangan analitik.
6. Masukkan ke dalam *furnace* 550°C selama 1 jam.
7. Masukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
8. Didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
9. Timbang cawan dan abu hasil pembakaran dengan neraca analitik.
10. Hitung kadar karbon sampel dengan rumus:

$$\text{Volatile Solid (\%VS)} = \frac{\{c - (a - b)\}}{c} \times 100\%$$

$$\text{Kadar karbon (\%)} = \frac{(\%)\text{VS}}{1,8}$$

Keterangan:

- a = berat cawan + abu setelah pembakaran 550°C (gram)
- b = berat cawan kosong setelah pembakaran 550°C (gram)
- c = berat cawan + sampel kering (gram)

A.2 Analisis Total N (Kjeldahl dan Spektrofotometri)

Alat:

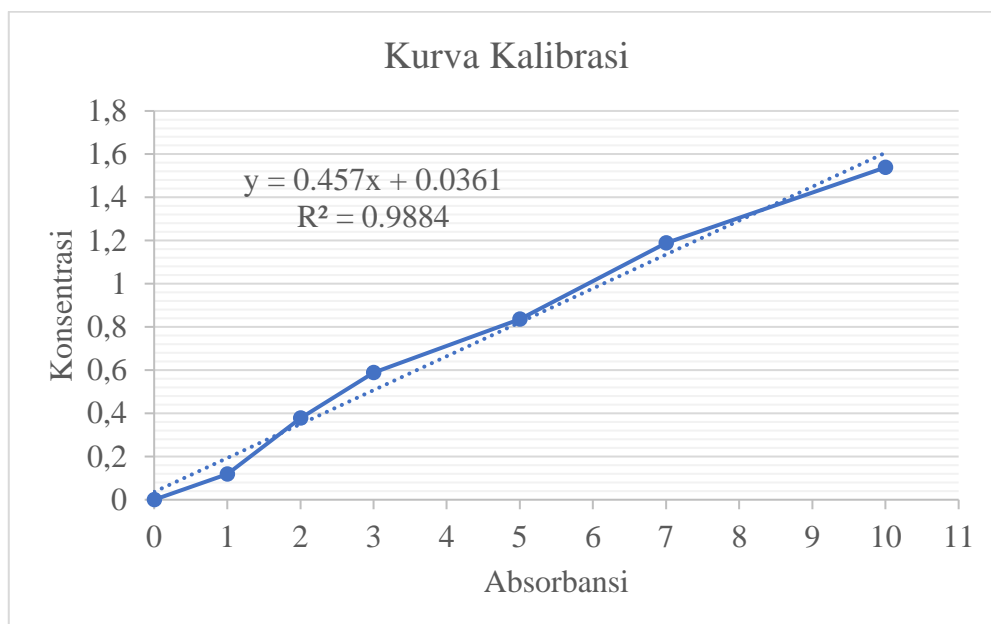
- Alat digester
- *Water circulating vacuum*
- Spatula
- *Beaker glass* 25 ml
- Spektrofotometer

Bahan:

- Digest N
- Garam *seignette*
- Larutan *nessler*
- Aquades

Prosedur Kerja Analisis:

1. Ditimbang sampel sebanyak 0,1 gram (1 spatula)
2. Dimasukkan ke dalam tabung digester
3. Ditambahkan digest N sebanyak 25 ml dengan total volume 100 ml
4. Tabung yang telah diisi dimasukkan ke dalam alat digester dan ditutup
5. Dinyalakan mesin digester selama ± 2 jam dengan suhu 300°C
6. Dinyalakan *water circulating vacuum* untuk menyerap uap
7. Mesin digester akan otomatis mati setelah ± 2 jam
8. Didinginkan dan didiamkan hingga uap dalam tabung digester hilang, kemudian mesin *water circulating vacuum* dimatikan
9. Ditambahkan aquades hingga mencapai batas 100 ml dan dihomogenkan
10. Diendapkan padatan terlarut hingga terendap sempurna
11. Diambil 1 ml larutan sampel dan diencerkan dengan aquades hingga 25 ml
12. Dibuat larutan blanko dengan aquades 25 ml
13. Ditambahkan garam *signette* sebanyak 1,25 ml
14. Ditambahkan larutan *nessler* sebanyak 1 ml
15. Ditunggu 10 menit
16. Diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang optimum yang telah didapatkan yaitu 400 nm
17. Didapatkan nilai absorbansi (y), kemudian dimasukkan ke dalam rumus persamaan regresi untuk mengetahui nilai konsentrasi (x)



$$y = 0,457x + 0,0361 \rightarrow x = \frac{y - 0,0361}{0,457} \rightarrow C \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{Abs - 0,0361}{0,457}$$

$$Total N (\%) = \frac{(C \times f)}{10.000 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

Keterangan:

- y = nilai absorbansi sampel
- x = C, konsentrasi sampel (mg/l)
- f = faktor pengenceran

A.3 Analisis Kelimpahan Mikroorganisme (TPC)

Alat:

- Cawan petri steril
- Tabung reaksi
- Pipet
- *Digital colony counter*

Bahan:

- Sampel
- Media NA
- Air pengencer

Prosedur Analisis:

1. Lakukan semua prosedur dengan steril dan aseptik
2. Nyalakan api dengan pembakar bunsen. Lakukan semua prosedur di sekitar nyala api maksimal 10 cm dari nyala api
3. Ambil sampel dengan menggunakan pipet steril masukkan secukupnya dalam tabung reaksi dengan label 10^{-1} yang berisi air pengencer 9 mL, kocok hingga homogen
4. Ambil air pengencer pada tabung reaksi 10^{-1} sebanyak 1 mL masukkan dalam tabung reaksi dengan label 10^{-2} , kocok hingga homogen
5. Ambil air pengencer pada tabung reaksi 10^{-2} sebanyak 1 mL masukkan dalam tabung reaksi dengan label 10^{-3} , kocok hingga homogen
6. Lakukan langkah seperti nomor 5 hingga label 10^{-6}
7. Air sampel masukkan ke dalam cawan petri steril yang berlabel 10^{-5} dan 10^{-6}
8. Air pengencer pada tabung reaksi berlabel 10^{-5} masukkan ke dalam cawan petri steril 10^{-6}
9. Air pengencer pada tabung reaksi berlabel 10^{-5} masukkan ke dalam cawan petri steril 10^{-6}
10. Tuangkan agar tegak NA yang suhunya 45°C (Pastikan NA tidak ada yang menggumpal) pada masing-masing cawan petri yang sudah berisi sampel dengan cara menggoyang-goyangkan. Masing-masing 5x ke arah depan-belakang, 5x ke arah kiri-kanan, 5x menurut putaran jam, dan 5x menurut arah berlawanan dengan jarum jam
11. Tunggu hingga NA padat kembali. Setelah media NA padat, balik cawan petri dan bungkus kembali dengan kertas
12. Simpan pada inkubator
13. Lakukan pengamatan selama 24 jam dengan menghitung jumlah koloni dalam cawan petri (Bandingkan antara cawan petri dengan label 10^{-5} dan 10^{-6}), dapat dihitung sebagai berikut,

$$\text{Koloni per mL} = \frac{\text{jumlah koloni per cawan}}{\text{mL sampel pada cawan}} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B
KEBUTUHAN OKSIGEN IN-VESSEL COMPOSTING

Perhitungan Suplai Udara

- Komposisi organik bahan pengomposan yaitu:
 - C = 55,42%
 - H = 7,00%
 - O = 37,00%
 - N = 0,55%

- Data awal penelitian :
 - Berat bahan baku kompos per reaktor = 100 kg
 - Kadar air = 78,20%
 - Kandungan O₂ = 20,30%
 - Berat spesifik udara = 0,075 lb/ft³
 - Asumsi
 - Volatile Solid (VS) = 0,93 × TS (Total Solid)
 - Biodegradable VS (BVS) = 0,6 × VS
 - Efisiensi BVS = 95%

Diperoleh perhitungan sebagai berikut :

BM	Komposisi	Berat Asli (kg)	Kadar Air	Berat Kering (kg)	Komposisi Berat	Moles	Moles Ratio (N-->1)	
C	12.01	55,42%	78.20%	78.2	43,34	3,61	3608,53	a
H	1.01	6,65%			5,20	5,15	5149,08	b
O	16	37,13%			29,04	1,81	1814,97	c
N	14.01	0,55%			0,43	0,03	30,70	d

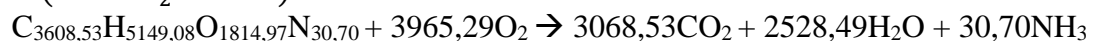
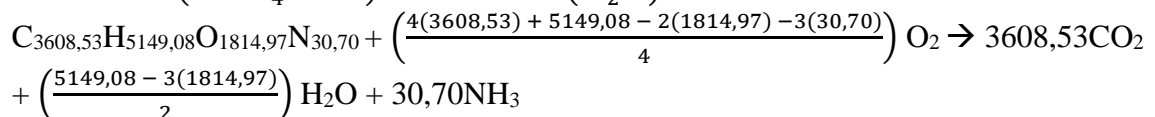
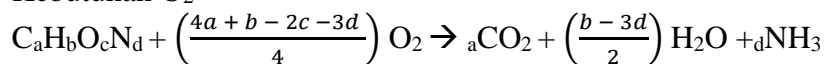
- Mass of biodegradable volatile solids

$$\text{Mass BVS} = 100 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \times 2000 \frac{\text{lb}}{\text{ton}} \times 78,20\% \times 0,32 \times 0,6 = 30,03 \text{ lb}$$

- Konversi mass BVS

$$\text{BVS mass conversion} = 30,03 \text{ lb} \times 0,95 = 28,53 \text{ lb}$$

- Kebutuhan O₂



C _{3112,37} H _{4645,54} O _{1857,25} N _{189,78}	78008,58
3202,8O ₂	126889,34
3112,37CO ₂	158811,39
2038,1H ₂ O	45563,41
189,78NH ₃	523,12

$$O_2 = \frac{126889,34 \text{ lb } O_2}{78008,58 \text{ BVS Converted}} = 1,38 \frac{\text{lb } O_2}{\text{lb BVS Converted}}$$

➤ Kebutuhan udara

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara} &= \frac{28,53 \text{ lb BVS} \times 1,38 \frac{\text{lb } O_2}{\text{lb BVS Converted}}}{0,203 \frac{\text{lb } O_2}{\text{lb udara}} \times 0,075 \frac{\text{lb } O_2}{\text{ft}^3 \text{ udara}}} \\ &= 3047,8 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

➤ Kebutuhan kapasitas pengaliran udara

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan aerasi} &= \frac{3047,8 \text{ ft}^3 \times 1 \times \frac{0,35}{\text{hari}}}{1140 \frac{\text{menit}}{\text{hari}}} \\ &= 0,94 \sim 1 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

Jadi, kebutuhan udara pada proses aerobik adalah 0,94 L udara/menit.kg yang dibulatkan menjadi 1 L udara/menit.kg.

LAMPIRAN C
HASIL PENGUKURAN PARAMETER

C.1 Hasil Pengukuran Kadar Air Kompos

Hasil Pengukuran Kadar Air (%)									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
1	77,4	77,7	78,1	77,8	77,7	77,9	75,5	77,9	77,9
2	77,3	72,8	71,7	72,3	76,1	74,6	73,2	75,7	77,7
3	77,9	78,5	78,9	76,4	77,6	77,9	74,8	64,3	66,8
4	76,8	76,5	77,8	76,7	78,5	75,8	77,4	77,8	78,9
5	77,3	76,6	77,3	75	78	77,8	76,3	78,6	78,1
6	75,2	77,9	78,5	76,8	77,9	77,5	76,9	77,4	77,8
7	75,4	78,5	78,8	78,2	78,3	78,8	78,2	78,3	78,2
8	77,9	78,5	78,5	77,6	78,9	77,8	78,7	78	78,8
9	76,9	78,5	80,1	76,6	79,8	78,8	76,9	78,4	78,5
10	77,3	78,9	78,8	77,9	78,7	78,5	78,5	78,4	76,4
11	77,7	78,1	78,9	77,4	77,2	78,4	76,7	77,5	77,6
12	62	77,5	77	76,8	77,9	78,4	76,4	77,3	77,5
13	76,2	77,3	78,9	77,1	78,5	76,9	76,4	78,2	78
14	73	77,8	78,9	77	78,1	78,3	75,3	77,1	78
15	76,2	73,2	77,8	76,7	78,5	78,9	77,6	77,2	78
16	72,5	78,9	78,5	77,4	78,7	78,9	77,2	77,8	78,4
17	74,9	78,1	78,8	76,3	77,2	78,8	78,2	77,5	78,6
18	71,4	77,5	78,67	76,2	77,8	78,3	78,5	78,5	77,8
19	73,9	77	78	76,5	78	78	77,3	78,4	78
20	73,2	67,9	78,2	76,1	77,6	78,6	76,6	78,2	78,6
21	73	70,1	78,3	76,6	77,9	78,5	76,3	77,5	77,4
22	73,5	72,8	78,5	77,3	77,2	78,4	76,9	77,3	76,4
23	73,7	73,3	77,9	77,9	78,5	78,4	77	77,8	77,6
24	72,8	72,5	77,6	76,8	78,5	78	76,5	77,4	77,5
25	72,5	72,4	78,2	76,5	78,1	78,3	75,7	77,5	77,7
26	72	72,6	78	76,2	78	78,3	75,4	77	78
27	73	74	77,2	76,8	77,2	78,5	76	77,4	76,5
28	73,8	74,4	76,9	77	77,8	78,1	77,2	76,9	77,1
29	74,3	74,2	76,5	77,8	78	78,2	77,3	76,4	76,2
30	75,6	76	76,8	78	77,8	78	78	76,8	75,3

C.2 Hasil Pengukuran Suhu Kompos

Hasil Pengukuran Suhu (°C)									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
1	36	32	30	34	32	31	34	32	31

Hasil Pengukuran Suhu (°C)									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
2	35	33	31	34	32	35	32	32	31
3	35	34	32	33	33	31	35	32	31
4	35	35	32	35	33	32	36	34	32
5	36	36	33	33	33	32	37	35	32
6	34	34	31	31	31	30	34	34	31
7	34	36	30	33	31	30	36	34	31
8	38	38	31	36	33	31	35	35	32
9	37	40	31	35	34	31	38	37	32
10	37	39	31	35	32	31	33	31	33
11	36	39	32	29	28	30	29	31	30
12	36	39	31	39	29	29	31	32	29
13	40	40	31	30	30	29	32	33	29
14	39	40	31	31	29	28	33	35	29
15	41	41	32	32	32	31	36	36	31
16	38	40	32	30	31	30	36	31	32
17	38	41	32	31	32	31	36	31	31
18	36	39	32	31	31	30	35	40	32
19	40	40	32	31	31	31	35	40	32
20	40	40	32	32	31	31	33	35	32
21	39	40	33	32	32	32	32	34	33
22	38	39	34	33	32	33	33	35	34
23	38	39	34	34	32	32	35	36	36
24	37	39	35	35	32	31	34	35	35
25	36	39	35	35	33	31	36	36	36
26	36	38	37	36	34	31	37	38	38
27	36	38	37	36	35	33	39	37	37
28	35	38	37	37	36	31	37	36	37
29	35	37	38	36	37	32	35	36	36
30	34	36	37	36	37	32	34	35	36

C.3 Hasil Pengukuran pH Kompos

Hasil Pengukuran pH									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	4	3	3	3	3	3	3	3	3

Hasil Pengukuran pH									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
6	5	3	3	3	3	3	3	3	3
7	5	3	3	3	3,5	3	5	3	3
8	5	4	4	4	3,5	3	4	3,5	3
9	5	5	4	4,5	4	3	4	3,5	3
10	6,5	5	4	3,5	4	4	3	3	4
11	6,5	5	5	3,5	4	4	3,5	3	3
12	6,5	5	5	3,5	3,5	4	3,5	3,5	3,5
13	6,5	5,5	5	4	3,5	3	4	3,5	3,5
14	6,5	5,5	4,5	4,5	3,5	3	5	3,5	3,5
15	6,5	5,5	4,5	3	3	3	5	3,5	3,5
16	6,5	5,5	4,5	3	3	3	6	5	3,5
17	6,5	6	4	3,5	3,5	3	6	5,5	3,5
18	6,5	5,5	3,5	5	3,5	3	6,5	5	4
19	6,5	6	3,5	3,5	3,5	3,5	6	5	3,5
20	6	6	5,5	4,5	3,5	3,5	4	4	3,5
21	6	6	5,5	4,5	3,5	3,5	4	4	3,5
22	6	6	5,5	5	4	3,5	5	5,5	3,5
23	6	6	5,5	5	4	4	6	5	4
24	6	6,5	5,5	5,5	4,5	4	6,5	6	4
25	6,5	6,5	5,5	6	4,5	4,5	6,5	6,5	4,5
26	6,5	6,5	5,5	6,5	5	4,5	7	6,5	5
27	6,5	6	5	6	5	4,5	6,5	6	5
28	6	6	5	6	5,5	5	6,5	5,5	5,5
29	6,5	5,5	5,5	6,5	5,5	5	6,5	6,5	6
30	6	5,5	5	6	5,5	5,5	6,5	6	5,5

C.4 Hasil Pengukuran Tinggi Tumpukan Kompos

Hasil Pengukuran Tinggi Tumpukan (cm)			
Hari ke-	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3
1	43	43	43
2	42	41	41
3	41	40	40
4	37	36	36
5	36	34	35
6	35	33	34
7	34	32	33
8	33	32	33
9	32	31	33

Hasil Pengukuran Tinggi Tumpukan (cm)			
Hari ke-	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3
10	31	29	31
11	30	28	30
12	29	27	29
13	29	26	29
14	28	26	29
15	28	26	28
16	28	26	27
17	27	25	27
18	27	25	26
19	26	25	26
20	26	24	26
21	25	24	25
22	25	24	25
23	25	24	25
24	25	24	25
25	24	23	24
26	24	23	24
27	24	23	24
28	24	23	23
29	24	22	23
30	24	22	23

C.5 Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas CO Kompos

Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas CO (ppm)									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
1	35	35	35	35	35	35	35	35	35
2	30	35	35	35	35	35	35	35	35
3	35	35	35	35	35	35	35	35	35
4	35	35	35	35	35	35	35	35	35
5	35	35	35	21	21	28	29	15	35
6	22	35	35	14	35	33	24	20	30
7	22	18	35	10	15	32	22	28	28
8	9	35	19	10	9	10	12	9	10
9	8	18	9	12	15	10	8	11	9
10	6	12	14	35	35	20	11	19	15
11	8	14	25	9	9	10	13	11	26
12	12	6	20	8	8	16	7	19	15
13	8	8	11	6	8	18	7	35	22
14	8	7	16	13	11	13	9	23	20

Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas CO (ppm)									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
15	10	8	12	17	15	18	13	9	16
16	11	9	13	16	14	17	11	7	13
17	13	11	15	15	13	16	11	7	13
18	9	7	11	14	12	15	12	8	14
19	12	10	14	13	11	14	9	5	11
20	10	8	12	10	8	11	10	6	12
21	7	5	9	9	7	10	8	4	10
22	8	6	10	11	9	12	9	5	11
23	13	11	15	8	6	9	13	9	15
24	12	10	14	10	8	11	12	8	14
25	9	7	11	11	9	12	10	6	12
26	10	8	12	13	11	14	11	7	13
27	14	12	16	14	12	15	9	5	11
28	11	9	13	16	14	17	12	8	14
29	10	8	12	12	10	13	11	7	13
30	11	9	13	11	9	12	11	8	11

C.6 Hasil Analisis Kadar C-organik Kompos

Hasil Analisis Kadar C-organik (%)									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
1	54,92%	54,85%	54,89%	54,91%	54,84%	54,96%	55,09%	55,04%	54,98%
5	54,58%	54,87%	54,90%	54,87%	54,87%	54,94%	55,03%	54,99%	54,94%
10	54,57%	54,60%	54,75%	54,94%	54,85%	54,91%	54,78%	54,95%	54,98%
15	54,37%	54,42%	54,92%	54,91%	54,80%	54,86%	54,71%	54,91%	54,90%
20	54,43%	54,31%	54,19%	54,72%	54,76%	54,81%	54,62%	54,83%	54,84%
25	54,21%	54,39%	54,13%	54,68%	54,60%	54,79%	54,65%	54,78%	54,71%
30	54,16%	54,37%	54,07%	54,64%	54,57%	54,69%	54,55%	54,75%	54,62%

C.7 Hasil Analisis Kadar Total N Kompos

Hasil Analisis Kadar Total N (%)									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
1	1,52%	1,56%	1,46%	1,54%	1,50%	1,57%	1,52%	1,54%	1,55%
5	1,63%	1,49%	1,54%	1,60%	1,58%	1,62%	1,68%	1,50%	1,54%
10	1,57%	1,51%	1,63%	1,49%	1,53%	1,76%	1,70%	1,73%	1,71%
15	1,60%	1,62%	1,74%	1,75%	1,72%	1,85%	1,64%	1,70%	1,68%
20	1,79%	1,91%	1,95%	1,71%	1,93%	1,83%	1,99%	1,81%	1,81%
25	1,72%	1,67%	1,73%	1,79%	1,90%	1,72%	1,88%	1,77%	1,86%
30	1,79%	1,72%	1,74%	1,85%	1,82%	1,84%	1,91%	1,89%	1,90%

C.8 Hasil Analisis Rasio C/N Kompos

Hasil Analisis Rasio C/N									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
1	36,13	35,19	37,59	35,61	36,60	34,89	36,24	35,69	35,40
5	33,49	36,76	35,73	34,36	34,72	33,83	32,67	36,70	35,63
10	34,77	36,05	33,60	36,93	35,95	31,28	32,21	31,70	32,22
15	34,05	33,62	31,58	31,38	31,81	29,68	33,46	32,39	32,59
20	30,34	28,37	27,83	32,07	28,37	29,92	27,52	30,29	30,29
25	31,47	32,50	31,33	30,58	28,69	31,81	29,14	31,01	29,34
30	30,28	31,56	31,00	29,56	29,96	29,67	28,58	28,93	28,70

C.9 Hasil Analisis Kelimpahan Mikroorganisme Metode TPC

Hasil Kelimpahan Mikroorganisme Metode TPC (CFU/gram)									
Hari ke-	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
1	145 x 10 ⁶	112 x 10 ⁵	127 x 10 ⁵	176 x 10 ⁶	115 x 10 ⁶	132 x 10 ⁵	213 x 10 ⁶	176 x 10 ⁵	176 x 10 ⁶
15	277 x 10 ⁶	199 x 10 ⁵	216 x 10 ⁵	266 x 10 ⁶	205 x 10 ⁵	220 x 10 ⁶	279 x 10 ⁵	215 x 10 ⁵	223 x 10 ⁶
30	240 x 10 ⁶	156 x 10 ⁶	194 x 10 ⁵	249 x 10 ⁶	194 x 10 ⁶	204 x 10 ⁶	252 x 10 ⁶	199 x 10 ⁶	202 x 10 ⁶

LAMPIRAN D
PENDATAAN DAN PENGAMBILAN SAMPAH RUMAH MAKAN

D.1 Pendataan Rumah Makan

Pendataan Rumah Makan			
No	Nama Rumah Makan	Alamat Rumah Makan	Waktu Pengambilan
1	Rumah Makan Sederhana	Dharmawangsa	4 sore
2	Soto Cak Har Arif Rahman Hakim	Arif Rahman Hakim	3 sore
3	Deles	Arif Rahman Hakim	8 malam
4	Warung Tegal Bu Erni	Arif Rahman Hakim	8 malam
5	Pawon Cabe	Arif Rahman Hakim	8 malam
6	Depot Anugerah	Mulyosari	4 sore
7	Nelongso	Mulyosari	8 malam
8	Penyetan Cak Thofa	Mulyosari	8 malam
9	Ayam Bakar Pak Dhe	Mulyosari	8 malam
10	Warung Tegal Citra Baru	Gebang	8 malam
11	Warung Padang Ampera Uni 3	Gebang	4 sore
12	Warung Padang Cahayo Minang	Kejawen	9 malam
13	Penyetan Lamongan	Keputih	8 malam
14	Depot Prasmanan 52	Keputih	4 sore
15	Warung Pak Kumis	Keputih	9 malam
16	Warung Tegal Aero	Keputih	4 sore
17	Ikan Bakar Keputih	Keputih	10 pagi
18	Warung Padang Goyang Lidah	Keputih	4 sore
19	Warung Padang Cahaya Minang	Keputih	3 sore
20	Warung Monggo Mas	Keputih	9 malam
21	Kane	Keputih	8 malam
22	Mr Suprek	Keputih	9 malam

D.2 Pengambilan Sampah Sisa Makanan untuk Karakteristik Awal

Pengambilan Sampah Sisa Makanan untuk Karakteristik Awal				
No	Nama Rumah Makan	Berat Sampah (kg)		
		23/02/2022	24/02/2022	Jumlah
1	Rumah Makan Sederhana	6,545	6,23	12,775
2	Soto Cak Har Arif Rahman Hakim	2,535	2,12	4,655
3	Deles	5,625	2,85	8,475
4	Warung Tegal Bu Erni	1,13	2,193	3,323
5	Pawon Cabe	3,895	2,2	6,095
6	Depot Anugerah	0,59	1,5	2,09
7	Nelongso	1,08	1,1	2,18
8	Penyetan Cak Thofa	1,13	1,05	2,18
9	Ayam Bakar Pak Dhe	3,44	3,67	7,11

Pengambilan Sampah Sisa Makanan untuk Karakteristik Awal				
No	Nama Rumah Makan	Berat Sampah (kg)		
		23/02/2022	24/02/2022	Jumlah
10	Warung Tegal Citra Baru	12,75	10,35	23,1
11	Warung Padang Ampera Uni 3	2,245	1,32	3,565
12	Warung Padang Cahayo Minang	1,98	1,102	3,082
13	Penyetan Lamongan	1,725	1,25	2,975
14	Depot Prasmanan 52	3,05	2,52	5,57
15	Warung Pak Kumis	0,48	0,92	1,4
16	Warung Tegal Aero	1,55	1,34	2,89
17	Ikan Bakar Keputih	4,02	2,256	6,276
18	Warung Padang Goyang Lidah	0,88	1,03	1,91
19	Warung Padang Cahaya Minang	1,78	1,2	2,98
20	Warung Monggo Mas	1,17	1,52	2,69
21	Kane	2,245	2,24	4,485
22	Mr. Suprek	0,93	0,72	1,65
Total		59,845	49,961	111,456

D.3 Pengambilan Sampah Sisa Makanan untuk Penelitian Utama

Pengambilan Sampah Sisa Makanan untuk Penelitian Utama					
No	Nama Rumah Makan	Berat Sampah (kg)			Jumlah
		31/03/2022	01/04/2022	02/04/2022	
1	Rumah Makan Sederhana	12,765	17,743	15,8	46,308
2	Soto Cak Har Arif Rahman Hakim	16,975	16,6	21,19	54,765
3	Deles	1,85	2,11	1,56	5,52
4	Warung Tegal Bu Erni	1,24	1,66	1,612	4,512
5	Pawon Cabe	8,335	7,3	4,44	20,075
6	Depot Anugerah	0,48	1,02	0,54	2,04
7	Nelongso	1,78	2,07	2,38	6,23
8	Penyetan Cak Thofa	0,15	0,31	0,42	0,88
9	Ayam Bakar Pak Dhe	10,865	1,63	3,075	15,57
10	Warung Tegal Citra Baru	12,46	10,49	15,07	38,02
11	Warung Padang Ampera Uni 3	4,61	2,375	3,73	10,715
12	Warung Padang Cahayo Minang	0,585	1,05	0,815	2,45
13	Penyetan Lamongan	1,035	1,16	2,745	4,94
14	Depot Prasmanan 52	5,52	6,99	6,625	19,135
15	Warung Pak Kumis	0,54	1,21	0,83	2,58
16	Warung Tegal Aero	1,34	1,42	1,24	4
17	Ikan Bakar Keputih	5,545	2,61	4,605	12,76
18	Warung Padang Goyang Lidah	0,93	1,12	0,766	2,816
19	Warung Padang Cahaya Minang	5,32	4,715	2,705	12,74
20	Warung Monggo Mas	0,37	0,54	0,46	1,37

Pengambilan Sampah Sisa Makanan untuk Penelitian Utama					
No	Nama Rumah Makan	Berat Sampah (kg)			
		31/03/2022	01/04/2022	02/04/2022	Jumlah
21	Kane	0,035	0,465	0,015	0,515
22	Mr Suprek	1,235	0,905	0,76	2,9
Total		93,965	85,493	91,383	270,841

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LAMPIRAN E
DOKUMENTASI**



Gambar E.1 Pengambilan Sampah Sisa Makanan



Gambar E.2 Pengumpulan Sampah Sisa Makanan



Gambar E.3 Pemilahan Sampah Sisa Makanan



Gambar E.4 Penimbangan dan Pencatatan Sampah Sisa Makanan



Gambar E.5 Pengukuran Komposisi Sampah Sisa Makanan



Gambar E.6 Pengadukan Sampah Sisa Makanan



Gambar E.7 Pengukuran pH Awal



Gambar E.8 Pengukuran Suhu Awal



Gambar E.9 Pengukuran Kadar Air Awal



Gambar E.10 Pencacahan Sampah Sisa Makanan



Gambar E.11 Hasil dari Pencacahan



Gambar E.12 Pengukuran Kadar Air Pengomposan



Gambar E.13 Pengukuran Suhu Pengomposan



Gambar E.14 Pengukuran pH Pengomposan



Gambar E.15 Pengukuran Konsentrasi Gas CO



Gambar E.16 Pengambilan Sampel untuk Analisis Laboratorium



Gambar E.17 Analisis C-organik



Gambar E.18 Analisis Total N



Gambar E.19 Analisis Kelimpahan Mikroorganisme Metode TPC

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 19 Januari 2000, merupakan anak ketiga dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di Sekolah Dasar Negeri (SDN) Wonokusumo III/42 Surabaya (2006-2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 11 Surabaya (2012-2015), Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 7 Surabaya (2015-2018). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan (FT-SPK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 03211840000027.

Selama menempuh pendidikan kuliah, penulis aktif mengikuti organisasi dan kepanitiaan di departemen, fakultas, dan kampus.

Penulis aktif di departemen yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) sebagai kepala divisi PSDM, ENVIRONATION, Hari Air Sedunia (HAS), dan asisten praktikum. Untuk tingkat kampus, penulis aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) sebagai staff kementerian ekonomi kreatif, kepala divisi physical marketing ITS EXPO, wakil internal UKM EXPO, kepala divisi inventaris UKM Softball, dan kepala mentor sinergis GERIGI ITS. Ketertarikannya dalam manajemen membuat penulis aktif dalam kepanitiaan fakultas dan pemandu LKMM TM.

Pada tahun 2021, penulis melaksanakan kerja praktek di PT Freeport Indonesia dengan topik pengolahan air limbah domestik. Penulis dapat dihubungi via email safrizalamir5@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Safrizal Amir
NRP : 0321184000027
Judul : *Kajian Penambahan Oksigen dan Pengaruh Frekuensi Pengadukan terhadap Laju Kematangan Kompos Sampah Sisa Makanan*

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	09 Mei 2022	Asistensi hasil, grafik pengukuran karakteristik, dan konten untuk bab 4	
2	12 Mei 2022	Asistensi penulisan draft laporan tugas akhir via whatsapp	
3	14 Mei 2022	Asistensi hasil revisi dari komentar pada asistensi tanggal 12 Mei 2022	
4	22 Mei 2022	Asistensi power point untuk seminar kemajuan	
5	05 Juni 2022	Asistensi terkait metode kelimpahan mikroorganisme bersama dosen biologi	
6	07 Juni 2022	Asistensi revisi draft laporan setelah seminar kemajuan sesuai dengan saran dari dosen pembimbing dan pengarah	
7	18 Juni 2022	Asistensi kelengkapan data pengukuran karakteristik via whatsapp	
8	20 Juni 2022	Asistensi penulisan dan konten untuk final buku tugas akhir	
9	24 Juni 2022	Asistensi final untuk pendaftaran sidang akhir	

Surabaya, 25 Juni 2022
Dosen Pembimbing

IDA A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)

Periode: Genap 2021/2022

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022

Pukul : 09.15 - 10.30 WIB

Lokasi : TL 106

Judul : Kajian Penambahan Oksigen dan Pengaruh Frekuensi Pengadukan terhadap Laju Kematangan Kompos Sampah Sisa Makanan

Nama : Safrizal Amir

NRP. : 0321184000027

Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Ditambahkan informasi dasar terkait dg. penambahan oksigen & pengadukan.
2.	Tambahkan reksi dasar terkait terbentuknya poma

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD.

Dosen Pembimbing

D.A.A. Walmadewandhi, ST., MT., PhD.

()
()



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03

Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji

Hari, tanggal : ~~Selasa~~ ^{Rabu 6 Juli} 5 Juli 2022 Ujian Tugas Akhir
Pukul : 10.30 - 11.45 WIB
Lokasi : TL 106
Judul : ~~Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik pada Air Lindir TPA Randegan, Kota Mojokerto~~
Nama : ~~Rafimarsa Tafaqury~~ ^{Safrizal Amir}
NRP. : ~~03211840000111~~
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Perbaiki salah tulis yg masih ada, juga beberapa titik, koma yang tidak tepat
2	Gambar kelimpahan organik me perlu di jelaskan lebih banyak

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

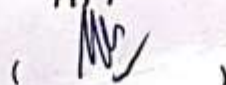
Dosen Penguji

Susi A. Wilugeng
Aseto Yekti Bagastyo ST, ME, M.Phil., Ph.D.

()

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

()



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022

Pukul : 09.15 - 10.30 WIB

Lokasi : TL 106

Judul : Kajian Penambahan Oksigen dan Pengaruh Frekuensi Pengadukan terhadap Laju Kematangan Kompos Sampah Sisa Makanan

Nama : Safrizal Amir

NRP. : 03211840000027

Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Kata kunci untuk abstrak hrs lud menguokca hrs .lud .
2.	Diperiksa kembali kesalahan pengekikan
3.	Disebutkan material lain yang bisa ditambahkan di saran .

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji


Deqi Rizkivia Radita, ST., MS.

()

CS Dipindai dengan CamScanner

Dosen Pembimbing

I D A A Warmadewanthi, ST., MT., PhD.

()