TUGAS AKHIR – RE 184804

KOMBINASI PROSES PRA-KOMPOSTING DAN VERMIKOMPOSTING MENGGUNAKAN *EUDRILUS EUGENIAE* DAN *LUMBRICUS RUBELLUS* UNTUK PENGOMPOSAN SAMPAH KEBUN DAN LUMPUR BIOLOGIS UNIT *SLUDGE DRYING BED* (SDB)

AGDIA PARAMATATYA
03211440000040

Dosen Pembimbing
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

TUGAS AKHIR – RE 184804

KOMBINASI PROSES PRA-KOMPOSTING DAN VERMIKOMPOSTING MENGGUNAKAN *EUDRILUS EUGENIAE* DAN *LUMBRICUS RUBELLUS* UNTUK PENGOMPOSAN SAMPAH KEBUN DAN LUMPUR BIOLOGIS UNIT *SLUDGE DRYING BED* (SDB)

AGDIA PARAMATATYA
03211440000040

Dosen Pembimbing
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

KOMBINASI PROSES PRA-KOMPOSTING DAN VERMIKOMPOSTING MENGGUNAKAN *EUDRILUS EUGENIAE* DAN *LUMBRICUS RUBELLUS* UNTUK PENGOMPOSAN SAMPAH KEBUN DAN LUMPUR BIOLOGIS UNIT *SLUDGE DRYING BED* (SDB)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
AGDIA PARAMATATYA
NRP 03211440000040

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Welly Herumurti, S.T., M.Sc.
NIP 19811223 200604 1 001

SURABAYA
JANUARI, 2019

KOMBINASI PROSES PRA-KOMPOSTING DAN VERMIKOMPOSTING MENGGUNAKAN EUDRILUS EUGENIAE DAN LUMBRICUS RUBELLUS UNTUK PENGOMPOSAN SAMPAH KEBUN DAN LUMPUR BIOLOGIS UNIT *SLUDGE DRYING BED* (SDB)

Nama Mahasiswa : Agdia Paramatatya

NRP : 03211440000040

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing : Welly Herumurti, S.T., M.Sc

ABSTRAK

Pengomposan material organik secara alami memerlukan waktu yang relatif lama yaitu selama 6-12 bulan dikarenakan pengadaan dekomposernya hanya mengandalkan mikroba alami yang ada pada sampah dan lingkungannya. Pengomposan material organik dengan cacing tanah dapat mempercepat waktu pengomposan hingga menjadi 1-3 bulan dan juga dapat menghasilkan produk akhir yang lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan cacing dalam mendegradasi lumpur biologis dan sampah kebun, menentukan pengaruh durasi pra-komposting dan durasi vermikomposting dalam pengomposan lumpur biologis dan sampah kebun, serta menentukan pengaruh jenis cacing dalam pengomposan lumpur biologis dan sampah kebun.

Pada penelitian ini digunakan sampel lumpur biologis unit *Sludge Drying Bed* (SDB) yang berasal dari IPLT Keputih dan sampah kebun dari Rumah Kompos Bratang Surabaya.

Penelitian dilakukan dengan mengkombinasikan proses pra-komposting dan vermikomposting dengan durasinya masing-masing 10 hari dan 50 hari, 20 hari dan 40 hari, 30 hari dan 30 hari dengan total waktu pengomposan 60 hari. Jenis cacing yang digunakan adalah *Eudrilus eugeniae* dan *Lumbricus* rubellus. Perbandingan massa antara lumpur biologis dan sampah kebun adalah 1:1. Penelitian pra-komposting dilakukan menggunakan 1 reaktor dengan ukuran Ø 49,5 cm x 91,7 cm. Penelitian vermikomposting dilakukan menggunakan 9 reaktor dengan ukuran 28 cm x 21 cm x 18 cm. Parameter yang diuji adalah pH, suhu, kadar air, *volatile solid*, rasio C/N, tingkat degradasi lumpur biologis dan sampah kebun, analisis ayakan, dan berat kering cacing.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Eudrilus eugeniae* dapat mereduksi berat kering kompos sebesar 32,63%-51,97% dan mereduksi *volatile solid* sebesar 57,48%-68,69%. *Lumbricus rubellus* dapat mereduksi berat kering kompos sebesar 33,37%-46,50% dan mereduksi *volatile solid* sebesar 55,75%-66,88%. Durasi pra-komposting 10 hari menunjukkan hasil yang lebih baik untuk parameter produksi kompos, C-organik, N-nitrat, dan *volatile solid*. Cacing *Eudrilus eugeniae* dapat mereduksi C-organik 6,2%, *volatile solid* 10,8%, rasio C/N total 14,1% lebih tinggi jika dibandingkan dengan cacing *Lumbricus rubellus.*

Kata kunci: *Eudrilus eugeniae, Lumbricus rubellus,* Lumpur biologis, Pra-komposting, Sampah kebun, Vermikomposting

COMBINATION OF PRE-COMPOSTING AND VERMICOMPOSTING PROCESSES USING EUDRILUS EUGENIAE AND LUMBRICUS RUBELLUS FOR GARDEN WASTE AND BIOLOGICAL SLUDGE ON SLUDGE DRYING BED (SDB) COMPOSTING

Student Name : Agdia Paramatatya

ID Number : 03211440000040

Department : Teknik Lingkungan

Guide Lecturer : Welly Herumurti, S.T., M.Sc

ABSTRACT

Natural organic material composting takes relatively long time, about 6-12 months, because it only relies on natural microbial in the waste and environment itself for decomposing process. Organic material composting using earth worm can reduce the duration to 1-3 months and also produce better end result. This study aims to determine the earth worm ability in degrading biological sludge and garden waste, to determine pre-composting duration and vermicomposting duration in biological sludge and garden waste composting, and to determine the influence of earth worm type in biological sludge and garden waste composting.

This study uses biological sludge sample from Sludge Drying Bed (SDB) unit in IPLT Keputih and garden waste from Rumah Kompos Bratang Surabaya. This study combines pre-composting and vermicomposting process with the duration respectively 10 days and 50 days, 20 days and 40 days, and

30 days and 30 days, with total composting time of 60 days. Earth worm type used is *Eudrilus eugeniae* and *Lumbricus* rubellus. Mass ratio between biological sludge and garden waste is 1:1. Pre-composting study uses 1 reactor with Ø 49,5 cm x 91,7 cm dimension. Vermicomposting study uses 9 reactor with 28 cm x 21 cm x 18 cm dimension. Parameters tested are pH, temperature, water content, volatile solid, C/N ratio, biological sludge and garden waste degradation rate, sieve analysis, and worm dry weight.

The results of this study showed that *Eudrilus eugeniae* can reduce 32,63%-51,97% of compost dry weight and reduce 57,48%-68,69% of volatile solid. *Lumbricus rubellus* can reduce 33,37%-46,50% of compost dry weight and reduce 55,75%-66,88% of volatile solid. The 10 day pre-composting duration showed better result for compost product, C-organic, N-nitrate, and volatile solid parameters. *Eudrilus eugeniae* can reduce C-organic 6,2%, volatile solid 10,8%, C/N ratio total 14,1% higher when compared to *Lumbricus rubellus.*

Keyword: Biological sludge*, Eudrilus eugeniae,* Garden waste*, Lumbricus rubellus,* Pre-composting, Vermicomposting

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Kombinasi Proses Pra-komposting dan Vermikomposting Menggunakan *Eudrilus eugeniae* dan *Lumbricus rubellus* untuk Pengomposan Sampah Kebun dan Lumpur Biologis Unit *Sludge Drying Bed* (SDB)”.

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
2. Ibu Dr. Ir. Ellina Pandebesie, M.T., Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.phil, Ph.D, Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM selaku dosen pengarah tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Teman-teman angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya.
4. Semua pihak yang telah membantu pembuatan tugas akhir ini.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....i
ABSTRACT.....iii
KATA PENGANTAR.....v
DAFTAR ISI.....vii
DAFTAR GAMBAR.....xi
DAFTAR TABEL.....xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Ruang Lingkup 5
1.5 Manfaat Penelitian 6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....7
2.1 Karakteristik Sampah Organik 7
2.2 Karakteristik Lumpur Biologis..... 8
2.3 Pra-komposting 9
2.4 Proses Biokimia Pengomposan 9
2.5 Prinsip Vermikomposting 12
2.6 Daur Hidup dan Peran Cacing Tanah..... 16
2.6.1 Cacing *Eudrilus eugeniae* 17
2.6.2 Cacing *Lumbricus rubellus*..... 18
2.7 Penelitian Terdahulu 19
BAB 3 METODE PENELITIAN.....23

3.1 Kerangka Penelitian 23
3.2 Ide Penelitian..... 27
3.3 Studi Literatur 28
3.4 Persiapan Penelitian 28
3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan 28
3.4.2 Pembuatan Reaktor 28
3.4.3 Pengambilan Sampel 31
3.4.4 Perhitungan Kebutuhan Cacing 32
3.4.5 Aklimatisasi Cacing 32
3.5 Analisis Karakteristik Awal 34
3.6 Pelaksanaan Penelitian..... 34
3.6.1 Pra-Komposting..... 34
3.6.2 Vermikomposting..... 36
3.6.3 Metode Analisis Sampel..... 36
3.7 Hasil dan Pembahasan 41
3.8 Kesimpulan dan Saran 41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....43
4.1 Analisis Karakteristik Awal 43
4.1.1 Densitas 43
4.1.2 Suhu dan Kadar Air 44
4.1.3 *Volatile Solid*..... 45
4.1.4 pH 45
4.1.5 C-organik dan TKN..... 46
4.1.6 N-nitrat dan N-ammonia 47
4.2 Pra-komposting dan Vermikomposting 48

4.2.1 C-organik 49
4.2.2 Total Nitrogen 51
4.2.3 N-total 56
4.2.4 N-organik 57
4.2.5 Rasio C/N total 59
4.2.6 Kadar Air 61
4.2.7 *Volatile Solid* 63
4.2.8 pH 65
4.2.9 Suhu 66
4.2.10 Berat Total Material 68
4.3 Reduksi Substrat (Bahan Baku Kompos) 69
4.4 Produksi Kompos 71
4.5 Kematangan Kompos 73
4.6 Analisis *Mass Balance* 74
4.6.1 *Mass Balance* Parameter 74
4.6.2 *Mass Balance* Massa Kompos 77
4.7 Analisis Statistik 79
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 83
5.1 Kesimpulan 83
5.2 Saran 83
DAFTAR PUSTAKA 85
LAMPIRAN A PROSEDUR PERCOBAAN 93
LAMPIRAN B PENENTUAN PANJANG GELOMBANG DAN KURVA KALIBRASI 101
LAMPIRAN C DOKUMENTASI 107

LAMPIRAN D DATA ANALISIS.....109
BIOGRAFI PENULIS.....133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kerangka Penelitian 26
Gambar 3.2 Reaktor Pra-komposting 29
Gambar 3.3 Reaktor Vermikomposting..... 30
Gambar 3.4 Rak Reaktor Vermikomposting 30
Gambar 3.5 Cacing: (a) *E. eugeniae*; (b) *L. rubellus* 34
Gambar 4.1 C-organik (%) Pengomposan 60 hari..... 50
Gambar 4.2 TKN (%) Pengomposan 60 hari 51
Gambar 4.3 N-ammonia (%) Pengomposan 60 hari 53
Gambar 4.4 N-nitrat (%) Pengomposan 60 hari 54
Gambar 4.5 N-total (%) Pengomposan 60 hari 56
Gambar 4.6 N-organik (%) Pengomposan 60 hari..... 58
Gambar 4.7 Perubahan C/N total 59
Gambar 4.8 Kadar Air (%) Pengomposan 60 hari 61
Gambar 4.9 *Volatile Solid* (%) Pengomposan 60 hari 63
Gambar 4.10 pH Pengomposan 60 hari 65
Gambar 4.11 Suhu (°C) Pengomposan 60 hari..... 67
Gambar 4.12 Perubahan Berat Kompos (kg) 69
Gambar 4.13 Persentase Reduksi Substrat (%)..... 70
Gambar 4.14 Produksi Kompos (%) 72
Gambar 4.15 *Mass Balance*..... 78

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen Material Organik 7
Tabel 2.2 Karakteristik Lumpur IPLT Keputih Unit Sludge Drying Bed..... 8
Tabel 2.3 Standar Kualitas Kompos 16
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu 20
Tabel 3.1 Reaktor Penelitian..... 27
Tabel 3.2 Karakteristik Cacing Tanah..... 33
Tabel 3.3 Metode Analisis Sampel 39
Tabel 4.1 Hasil Analisis Densitas..... 43
Tabel 4.2 Hasil Analisis Suhu dan Kadar Air 44
Tabel 4.3 Hasil Analisis Kadar Air Cacing 45
Tabel 4.4 Hasil Analisis *Volatile Solid*..... 45
Tabel 4.5 Hasil Analisis pH 46
Tabel 4.6 Hasil Analisis C-organik dan TKN..... 46
Tabel 4.7 Hasil Analisis Rasio C/N 47
Tabel 4.8 Hasil Analisis N-nitrat dan N-ammonia 48
Tabel 4.9 Berat Total Reaktor Vermikomposting..... 68
Tabel 4.10 Hasil Analisis Kematangan Kompos..... 73
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Pengaruh Cacing dan Mikroorganisme Terhadap Reduksi Parameter 75
Tabel 4.12 Hasil Analisis Pengaruh Durasi Pra-komposting terhadap Parameter 79
Tabel 4.13 Hasil Analisis Pengaruh Jenis Cacing terhadap Parameter..... 80
Tabel 4.14 Hasil Analisis Pengaruh Kombinasi Durasi Pra-komposting dengan Jenis Cacing terhadap Parameter..... 81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk di kota besar menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah timbulan sampah, tidak terkecuali Kota Surabaya. Menurut Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kota Surabaya (2012), timbulan sampah Kota Surabaya tahun 2011 dengan jumlah rumah tangga 806.794 yaitu 1200 ton/hari dan komposisi sampah organik mencapai 79,19%. Selain timbulan sampah organik, lumpur hasil pengolahan limbah juga dapat menimbulkan masalah. Lumpur hasil Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dikelola pada unit *Sludge Drying Bed* (SDB). Lumpur yang berasal dari unit SDB mengandung bahan organik sebesar 66,71% (Putri, 2008). Bahan organik tersebut mudah terdegradasi secara biologis dan menyebabkan pencemaran lingkungan, terutama menimbulkan bau. Reduksi material organik yang banyak dilakukan di Indonesia adalah dengan menggunakan sistem komposting. Komposting merupakan salah satu metode untuk penanggulangan sampah organik dan limbah padat IPAL dengan cara dekomposisi bahan organik secara biologis dalam kondisi aerobik dan termofilik terkendali menjadi produk stabil seperti humus, yaitu kompos (Sahwan, 2013). Secara alami bahan-bahan organik akan mengalami penguraian di alam dengan bantuan mikroba maupun biota tanah lainnya. Namun, proses pengomposan yang terjadi secara alami memerlukan waktu yang relatif lama (6-12 bulan) dikarenakan pengadaan dekomposernya hanya mengandalkan mikroba alami yang ada pada sampah dan lingkungannya (Nurjazuli *et al.,* 2016).

Vermikomposting adalah proses pengomposan dengan menggunakan beberapa spesies cacing tanah untuk meningkatkan proses konversi bahan organik dan menghasilkan

produk akhir yang lebih baik (Nagavallemma *et al.,* 2004). Cacing tanah dapat mengubah komponen fisik dan kimia tanah dengan meningkatkan ketersediaan karbon dan nitrogen pada tanah dan meningkatkan kontak antara kontaminan dengan mikroorganisme tanah (Rodriguez-Campos *et al.,* 2014). Dalam kondisi ideal cacing tanah dapat mengonsumsi hampir semua jenis bahan organik dengan jumlah yang sama dengan berat badan cacing per hari (Hemalatha, 2012). Hal ini yang menyebabkan pengomposan sampah menggunakan cacing memiliki tingkat degradasi 7,3% lebih tinggi dibandingkan pengomposan konvensional (Singh *et al.,* 2011). Vermikomposting efektif pada suhu antara 15-25ºC, sedangkan proses komposting tradisional biasa dilakukan pada suhu 55-65 ºC. Sampah dapur, sampah kebun, sampah pasar, kotoran hewan ternak, dan beberapa fraksi organik sampah kota merupakan sumber bahan organik yang dapat didekomposisi melalui proses vermikompoting (Rosik-Dulewska *et al.,* 2014). Pengomposan sampah dengan komposting konvensional akan menimbulkan masalah. Masalah yang ditimbulkan adalah bau. Vermikomposting akan mengurangi bau pada material organik (Nadi *et al.,* 2011).

Vermikomposting membutuhkan bahan organik untuk dikomposkan seperti sampah kebun dan lumpur biologis. Menurut Ristiawan *et al.* (2013), lumpur organik memiliki rasio C/N yang memenuhi persyaratan kompos matang yaitu 17,55 namun rasio C/N sampah organik tidak memenuhi persyaratan kompos matang yaitu 27,67. Hal ini akan membuat proses pengomposan tidak berjalan dengan baik. Bahan kompos dengan rasio C/N tinggi harus dicampur dengan bahan kompos dengan rasio C/N rendah (Setyorini *et al.,* 2008). Proses degradasi sampah oleh cacing dipengaruhi oleh jenis cacing yang digunakan, bahan organik dan media hidup cacing (IPPTP, 2001). Penelitian vermikomposting menggunakan cacing *Eudrilus eugeniae (E. eugeniae)* dan *Lumbricus rubellus (L. rubellus)* telah banyak dilakukan untuk dekomposisi beberapa jenis sampah organik.

Jenis cacing ini memiliki nafsu makan tinggi, reproduksi cepat, dan berkembangbiak dengan cepat (Suthar, 2009). Cacing *L. rubellus* yang hidup sebagai *epigeic* diketahui sangat potensial untuk mendegradasi bahan organik (Loh *et al.,* 2005). Cacing jenis *epigeic* (habitat hidupnya di kotoran atau sampah serta memakan bahan-bahan organik) paling sesuai untuk digunakan dalam membuat vermikompos (Masri *et al.,* 2016). Perbandingan bahan makanan (sampah) dan massa cacing adalah 4:1, *L. rubellus* mampu menghasilkan feses yang merupakan kompos sebesar 920 g/4000 g cacing. Selain itu juga menghasilkan C/N sebesar 14:1 dengan rincian N total sebesar 2,53% dan C organik sebesar 35,69% (Rahmatullah, 2013). Sedangkan cacing *E. eugeniae* telah digunakan untuk komposting di Amerika sejak tahun 1940 (Lowe *et al.,* 2014). *E. eugeniae* merupakan cacing dengan laju pertumbuan yang sangat cepat dan cukup produktif, serta dapat meningkatkan total biomassa jauh lebih cepat daripada spesies cacing yang lain (Dominguez *et al*., 2001). Cacing ini sangat baik untuk dekomposisi sampah organik pada kondisi tropis (Loh *et al.,* 2005).

Salah satu faktor yang berpengaruh pada proses vermikomposting adalah perbandingan antara jumlah makanan dan jumlah cacing (Gajalakshmi dan Abbasi, 2004). Perbandingan yang sesuai antara jumlah makanan yang disediakan untuk cacing dan jumlah cacing akan menghasilkan kompos dengan waktu yang cepat (Rahmawati, 2015). Setiap jenis cacing memiliki kemampuan mendegradasi sampah organik yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan karakteristik makanan yang dapat dikonsumsi cacing (Anwar, 2009). Ukuran partikel makanan mempengaruhi pertumbuhan dan kesuburan cacing tanah. Ukuran yang lebih kecil akan mudah dicerna dan diasimilasi, sehingga disarankan ukuran makanan hendaknya sekitar 1-2 cm. Media cacing harus terdiri atas bahan organik yang sudah mengalami pelapukan atau sudah dikomposkan dan tidak mengeluarkan gas (ammonia)

(Rahmatullah, 2013). Pra-komposting dapat mengoptimalkan kondisi tersebut. Pra-komposting dibutuhkan untuk menyiapkan material organik agar lebih mudah dimanfaatkan oleh cacing sehingga mempercepat periode vermikompsting (Ismail *et al.,* 2006). Pra-komposting berfungsi untuk mengurangi kandungan ammonia dan garam dalam sampah organik (Lowe *et al.,* 2014). Durasi pra-komposting memiliki korelasi yang negatif dengan pertumbuhan dan reproduksi cacing tanah selama vermikomposting sehingga harus dibatasi. Waktu pra-kompsting yang efektif adalah tidak lebih dari 30 hari karena akan mengakibatkan hilangnya nutrien bersamaan dengan ammonia (Frederickson *et al.,* 2007). Menurut Kulkarni (2017), waktu pra-komposting yang ideal untuk proses vermikomposting yang efektif yaitu selama 1 minggu. Dalam 7 hari pra-komposting, lebih dari 95% koliform tinja dan *E. coli* dapat disisihkan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan durasi pra-komposting dan durasi vermikomposting yang efektif dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis. Selain itu, diperlukan perbandingan yang sesuai antara material organik dengan cacing yang digunakan untuk mengetahui tingkat degradasi sampah kebun dan lumpur biologis menggunakan cacing.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kemampuan cacing *Eudrilus eugeniae* dan cacing *Lumbricus rubellus* dalam mendegradasi sampah kebun dan lumpur biologis?
2. Bagaimana pengaruh durasi pra-komposting dan durasi vermikomposting dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis?

3. Bagaimana pengaruh jenis cacing dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan kemampuan cacing *Eudrilus eugeniae* dan cacing *Lumbricus rubellus* dalam mendegradasi sampah kebun dan lumpur biologis.
2. Menentukan pengaruh durasi pra-komposting dan durasi vermikomposting dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis.
3. Menentukan pengaruh jenis cacing dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup atau batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian berada di Laboratorium Pemulihan Air dan Laboratorium Fitoteknologi Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Sampel yang digunakan adalah sampah kebun berasal dari Rumah Kompos Bratang dan lumpur biologis unit SDB dari IPLT Keputih Surabaya.
3. Pra-komposting dan vermikomposting dilakukan dengan durasi masing-masing 10 hari dan 50 hari, 20 hari dan 40 hari, 30 hari dan 30 hari.
4. Total waktu pengomposan selama 60 hari.
5. Cacing yang digunakan adalah *E. eugeniae* dan *L. rubellus*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi secara ilmiah mengenai proses vermikomposting untuk pengomposan lumpur biologis dan sampah kebun.
2. Menjadi acuan dalam penelitian lebih lanjut tentang penggunaan cacing *E. eugeniae* dan *L. rubellus* serta durasi pra-komposting yang optimum pada proses vermikomposting untuk pengomposan lumpur biologis dan sampah kebun.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Sampah Organik

Menurut Wahyono (2001), sampah organik adalah sampah yang mengandung berbagai macam zat seperti karbohidrat, protein, lemak, mineral, dan vitamin yang secara alami zat-zat tersebut mudah terdekomposisi oleh pengaruh fisik, kimia, enzim yang dikandung oleh sampah itu sendiri dan enzim yang dikeluarkan oleh mikroorganisme yang hidup di dalam sampah. Sedangkan menurut SNI 3242:2008 tentang Pengelolaan Sampah di Permukiman, sampah organik adalah sampah yang mudah membusuk terdiri dari bekas makanan, bekas sayuran, kulit buah lunak, daun-daunan dan rumput. Hal ini yang menyebabkan pengelolaan sampah organik harus dilakukan dengan cepat, baik dalam pengumpulan, pembuangan, maupun pengangkutannya. Pembusukan sampah ini dapat menghasilkan bau tidak enak, seperti ammonia dan asam-asam volatil lainnya. Penumpukan sampah yang cepat membusuk perlu dihindari untuk mencegah tersebarnya vektor penyebab penyakit (Damanhuri dan Padmi, 2010). Komponen material organik dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komponen Material Organik

Material	N (%)	Rasio C/N
Sampah buah	1,52	34,8
Kotoran sapi	1,70	18,0
Potongan rumput	2,15	20,1
Daun	0,50-1,00	40,0-80,0
Rumput hijau	1,96	24,0

Sumber: Tchobanoglous *et al*., 1993

2.2 Karakteristik Lumpur Biologis

Lumpur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) biologis adalah hasil samping pengolahan air limbah yang kandungan utamanya terdiri dari biomasa mikroba yang bersifat voluminus dengan kadar padatan rendah ± 1 - 2 % (Soetopo *et al.*, 2011). Lumpur yang dihasilkan berasal dari kolam pengendap awal (*primary settling tank*) dan kolam pengendap akhir (*secondary settling tank*). Lumpur dari *primary settling tank* disebut *primary sludge* yang merupakan endapan padatan yang ikut mengalir bersama air limbah, sedangkan lumpur dari *secondary settling tank* disebut *secondary sludge* yang merupakan endapan mikroba sisa yang dibuang dari unit IPAL (Ikbal dan Nugroho, 2006). Lestari dan Yudihanto (2013), melakukan penelitian dengan menggunakan lumpur dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih pada unit SDB dengan karakteristiknya yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Lumpur IPLT Keputih Unit Sludge Drying Bed

Parameter	Satuan	Nilai
Suhu	°C	29,00
Kadar solid	%	12,81
Kadar air	%	87,19
Volatil solid	%	74,44
Karbon	%	41,36

Sumber: Lestari dan Yudihanto, 2013

Menurut Mahath (2016), pengomposan merupakan metode yang efektif untuk mengubah lumpur limbah menjadi pupuk karena mikroorganisme yang ada dalam lumpur dapat mengubah lumpur limbah menjadi kompos.

2.3 Pra-komposting

Pra-komposting dilakukan untuk menstabilkan suhu, pH dan kadar air sampah organik yang terlalu tinggi serta pengurangan massa. Rasio C/N di bawah 20 adalah indikasi kematangan kompos. Jika rasio C/N tinggi mengindikasikan bahwa kadar karbon terlalu tinggi sehingga dapat mengakibatkan proses degradasi berjalan lambat. Reduksi rasio C/N pada proses pra-komposting terjadi karena hilangnya karbon sebagai karbon dioksida (Nair *et al.*, 2006). Prinsip pengomposan adalah menurunkan nilai rasio C/N bahan organik menjadi sama dengan rasio C/N tanah. Nilai rasio C/N tanah adalah 10-12. Bahan organik yang memiliki rasio C/N sama dengan tanah memungkinkan bahan tersebut dapat diserap oleh tanaman (Djuarnani *et al.*, 2005). Penurunan ini akibat adanya aktivitas mikroorganisme. Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), mikroorganisme akan mengalami 4 fase pertumbuhan yaitu fase lag, fase log (aktif), fase stasioner dan fase kematian. Fase lag merupakan fase adaptasi. Fase log adalah fase dimana mikroorganisme membutuhkan banyak energi untuk metabolisme. Fase stasioner adalah fase dimana jumlah sel sama. Fase kematian adalah fase dimana mikroorganisme mengalami kematian karena nutrien dalam media sudah habis. Pra-komposting umumnya dilakukan selama 10-30 hari. Jika dilakukan melebihi batas waktu kelaziman, maka harus ditambahkan material organik sebagai pakan cacing.

2.4 Proses Biokimia Pengomposan

Kompos mengalami tiga tahap proses pengomposan yaitu diawali dengan tahap penghangatan (tahap mesofilik), mikroorganisme hadir dalam bahan kompos secara cepat dan temperatur meningkat. Mikroorganisme mesofilik hidup pada temperatur 10-45°C dan bertugas memperkecil ukuran partikel

bahan organik sehingga luas permukaan bahan bertambah dan mempercepat proses pengomposan. Pada tahap kedua yaitu tahap termofilik, mikroorganisme termofilik hadir dalam tumpukan bahan kompos. Mikroorganisme termofilik hidup pada temperatur 45-60°C dan bertugas mengkonsumsi karbohidrat dan protein sehingga bahan kompos dapat terdegradasi dengan cepat. Kemudian proses dekomposisi mulai melambat dan temperatur puncak dicapai. Setelah temperatur puncak terlewati, tumpukan mencapai kestabilan, dimana bahan lebih mudah terdekomposisi. Tahap ketiga yaitu tahap pendinginan dan pematangan. Pada tahap ini, jumlah mikroorganisme termofilik berkurang karena bahan makanan berkurang, hal ini mengakibatkan organisme mesofilik mulai beraktivitas kembali. Organisme mesofilik akan merombak selulosa dan hemiselulosa yang tersisa dari proses sebelumnya menjadi gula yang lebih sederhana. Bahan yang telah didekomposisi menurun jumlahnya dan panas yang dilepaskan relatif kecil (Djuarnani *et al.*, 2005). Selulosa dan hemiselulosa merupakan karbohidrat bentuk polisakarida yang mengandung unsur C, H dan O.

Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), terdapat beberapa unsur hara yang terbentuk sebagai hasil pengomposan, yaitu unsur C, N, P, K, Mg dan unsur hara mikro lainnya. Unsur C berguna sebagai sumber energi dan untuk pembentukan sel jaringan. Karbon didapatkan dari bahan organik dan dari CO_2. Unsur N berguna untuk pertumbuhan serta untuk sintesis protein. Unsur P berguna untuk sistem perakaran serta untuk pembelahan sel.

Pada pengomposan secara aerob, oksigen mutlak dibutuhkan. Dalam sistem ini, kurang lebih 2/3 unsur karbon menguap menjadi CO_2 dan sisanya 1/3 bagian bereaksi dengan nitrogen dalam sel hidup. Selama proses pengomposan berlangsung akan terjadi reaksi eksotermik sehingga timbul

panas akibat pelepasan energi (Sutanto, 2002). Reaksi yang terjadi dalam proses pengomposan secara aerobik adalah:

$$\text{Bahan organik } (C_aH_bO_cN_d) + O_2 + \text{nutrien} \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{humus} + \text{hara} + \text{energi}$$

Berdasarkan reaksi kimia tersebut, terjadi proses pemecahan karbohidrat dan protein. Pramaswari *et al.* (2011), menjelaskan tentang proses biokimia yang terjadi saat dekomposisi karbohidrat dan protein. Dekomposisi karbohidrat terjadi melalui proses katabolisme glukosa ($C_6H_{12}O_6$). Reaksi yang terjadi adalah:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energi}$$

Energi disimpan dalam bentuk ATP (*Adenoxin Triphosphat*) kemudian digunakan untuk proses metabolisme.

Proses pemecahan protein terjadi melalui proses aminasi, ammonifikasi dan nitrifikasi. Proses aminasi adalah proses pemecahan protein menjadi ammonia. Reaksi yang terjadi saat aminasi adalah:

$$\text{Protein} \rightarrow R\text{-}NH_2 + CO_2 + \text{energi} + \text{senyawa lain}$$

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \rightarrow NH_3 + H_2O + \text{energi}$$

Proses ammonifikasi adalah pembentukan ammonium dari ammonia. Reaksi yang terjadi saat proses ammonifikasi adalah:

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + H_2O + OH^-$$

Proses nitrifikasi adalah pembentukan nitrit dan nitrat dari ammonia dengan bantuan bakteri. Pembentukan nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dan pembentukan nitrat oleh bakteri *Nitrobacter*. Proses yang terjadi saat nitrifikasi adalah:

$$NH_4^+ + 1{,}5O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O + \text{energi}$$

$$NO_2^- + 1{,}5O_2 \rightarrow NO_3^- + \text{energi}$$

Terbentuknya ion OH^- saat proses ammonifikasi dapat menyebabkan kenaikan pH substrat. Sedangkan terbentuknya ion H^+ saat nitrifikasi menyebabkan penurunan pH.

2.5 Prinsip Vermikomposting

Vermikomposting adalah proses pengomposan yang melibatkan stabilisasi sampah padat organik melalui konsumsi cacing tanah yang mengubah sampah menjadi kotoran cacing tanah (*casting*) (Singh *et al.,* 2011). *Casting* mengandung hormon dan enzim yang didapatkan selama berlalunya bahan organik melalui usus cacing tanah. Hormon dan enzim ini dapat merangsang pertumbuhan tanaman dan mencegah patogen pada tanaman (Gajalakshmi dan Abbasi, 2004).

Peran cacing tanah dalam proses vermikomposting adalah melalui aktivitas secara fisik dan biokimia. Aktivitas secara fisik yaitu membuat lubang sehingga memudahkan oksigen masuk ke dalam substrat dan mencampur substrat yang ada. Sementara aktivitas secara biokimia dilakukan oleh dekomposer yang ada di dalam saluran pencernaan cacing tanah (Kaviraj dan Sharma, 2003).

Vermikomposting berjalan ideal jika memenuhi syarat kondisi lingkungan. Panas yang terbentuk menyebabkan air menguap sehingga tumpukan kompos menjadi kering. Bila terlalu basah, pori-pori timbunan akan berisi air, dan oksigen berkurang sehingga proses menjadi anaerob. Pengadukan dan pembalikan diperlukan sekaligus penambahan air setiap 4-5 hari sekali. Daerah dengan curah hujan tinggi, pengomposan harus dilindungi dari hujan, misalnya diberi terpal atau tutup plastik (Damanhuri dan Padmi, 2010). Faktor-faktor yang

mempengaruhi proses vermikomposting menurut Rahmatullah (2013) adalah:

1. Sumber Makanan

Makanan berfungsi untuk meningkatkan pertumbuhan dan kemampuan reproduksi cacing tanah. Sumber utama pakan cacing tanah adalah bahan organik. Cacing tanah tidak mempunyai gigi untuk proses pencernaannya, oleh karena itu semua pakan yang diberikan sebaiknya lunak atau mengandung air.

Pakan dapat dibuat dalam bentuk seperti bubur atau sudah terfermentasi oleh mikroorganisme. Kematangan kompos dapat ditunjukkan apabila sudah melewati tahap termofilik, bisa juga dibuktikan dari segi fisik dan dari segi kimia, yaitu matangnya rasio C/N yang ditandai dengan struktur material yang remah, suhu 20°C-35°C, kelembaban 60%-70%, dan pH 7,5-8. Ketika kompos dengan kandungan karbon lebih tinggi dengan rasio C/N melebihi 40:1 dengan idealnya rasio C/N 30:1, maka perlu adanya penambahan nitrogen untuk memastikan proses dekomposisi yang efektif, namun nitrogen yang ditambahkan sebesar 0,1 kg untuk 20 kg material kompos, karena jika kelebihan akan menyebabkan kompos menjadi panas sehingga cacing akan meninggalkan media.

2. Ukuran Partikel

Ukuran partikel sangat mempengaruhi pertumbuhan dan kesuburan cacing tanah. Ukuran yang lebih kecil akan mudah dicerna dan diasimilasi, ukuran hendaknya sekitar 1-2 mm. Media cacing harus terdiri atas bahan organik yang sudah mengalami pelapukan atau sudah dikomposkan dan tidak mengeluarkan gas (ammonia) yang tidak diinginkan cacing serta sampah menjadi remah.

3. Suhu lingkungan

Suhu lingkungan sangat berpengaruh pada aktivitas metabolisme, pertumbuhan, respirasi, dan produksi cacing. Suhu lingkungan yang ideal untuk aktivitas pertumbuhan dan

saat penetasan kokon (telur cacing) menjadi juvenile (cacing muda) berkisar 15°C-30°C. Bila suhu terlalu tinggi atau terlalu rendah, maka proses fisiologis akan terganggu.

4. Adanya Lapisan Bahan Organik

Penambahan lapisan bahan organik di atas permukaan substrat dapat menjadi tempat berlindung bagi cacing tanah dari suhu tinggi. Lapisan bahan organik ini disebut *bedding. Bedding* yang baik memiliki daya serap tinggi terhadap air, sehingga dapat menjaga kelembaban, mampu menjaga sirkulasi oksigen, memiliki kandungan protein rendah dan rasio C/N yang tinggi. Bahan *bedding* harus memiliki kandungan selulosa yang tinggi untuk pengaturan aerasi di dalam wadah sehingga cacing mendapatkan sirkulasi udara yang baik. Sampah pasar yang terdiri dari sayuran juga memiliki karakteristik sebagai *bedding,* seperti kemampuan menyerap air dan sirkulasi udara dengan kategori sedang hingga baik dan rasio C/N yang baik untuk *bedding.* Material tersebut difermentasikan hingga melewati fase termofilik dengan temperatur mencapai 45°C -75°C. Setelah *bedding* siap, perlu adanya uji aklimatisasi, yaitu menempatkan beberapa cacing ke dalam media selama minimal 48 jam. Jika setelah 48 jam cacing tanah tidak meninggalkan media, berarti media telah layak sebagai tempat pemeliharaan cacing tanah.

5. pH

Cacing tanah bisa bertahan hidup dalam rentang pH dari 5-9, tetapi optimalnya 7,5-8. Secara umum, pH *bedding* cacing cenderung menurun dari waktu ke waktu karena fermentasi sampah organik di bawahnya. Pada lingkungan yang terlalu basa akan menyebabkan cacing meninggalkan media dan dapat mengalami kematian, sedangkan pada lingkungan yang terlalu asam, akan terjadi kerusakan pada tembolok, dormasi, diapaus, konvulasi, paralisis dan akhirnya mengalami kematian.

Pada kondisi asam dapat menyebabkan hama seperti tungau semakin bertambah banyak dan aktivitas tanah secara konstan juga dapat meningkatkan pH pada tanah asam,

karena cacing tanah dapat mengeluarkan kapur dalam bentuk kalsium karbonat atau dolomit. Turunnya pH selama proses vermikomposting terjadi karena degradasi rantai pendek asam lemak dan ammonifikasi unsur N.

6. Aerasi

Faktor-faktor seperti zat berlemak atau berminyak dalam bahan baku, kelembaban yang berlebihan, aerasi yang buruk dapat membuat kondisi anaerobik di dalam proses vermikomposting. Cacing akan mati karena kekurangan oksigen dan adanya zat-zat beracun (misalnya ammonia) diproduksi di bawah kondisi seperti itu. Hal ini adalah salah satu alasan utama untuk tidak memasukkan daging atau limbah berlemak atau berminyak lainnya pada makanan cacing, kecuali telah melalui proses pra-komposting terlebih dahulu untuk memecah minyak dan lemak.

7. Kelembaban

Cacing membutuhkan kelembaban dalam rentang 50%-70%. Pemberian pakan sebaiknya tidak terlalu basah karena dapat menciptakan kondisi anaerob. Kelembaban yang rendah menyebabkan cacing tanah menghindar dan mencari media yang lebih lembap dan jika kelembaban terlalu tinggi dapat menyebabkan cacing tanah mati. Perbedaan tingkat kelembaban menyebabkan metabolisme cacing tanah menghasilkan energi berbeda sehingga mempengaruhi laju konsumsinya. Makanan dan *bedding* perlu disemprot dengan air untuk mempertahankan kelembaban hingga kelembaban mencapai 50%-70%.

Kelembaban yang rendah dapat menurunkan laju konsumsi dan pertumbuhan. *Bedding* dan makanan yang telah terfermentasi secara sempurna, suhunya cenderung meningkat, sehingga berakibat terjadinya cacing meninggalkan media atau bahkan terjadi kematian. Oleh karena itu, media harus dihindarkan dari sinar matahari langsung atau tiupan angin kencang untuk mencegah penurunan kelembaban secara drastis.

Vermikompos harus memenuhi standar kualitas kompos berdasarkan SNI 19-7030-2004 tercantum pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 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
6.	Kemampuan ikat air	%	58	
7.	pH		6,8	7,49
8.	Bahan asing	%	-	1,5
Unsur makro				
9.	Bahan organik	%	27	58
10.	Nitrogen	%	0,4	
No.	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
11.	Karbon	%	9,8	32
12.	Phosfor (P_2O_5)	%	0,1	
13	C/N rasio		10	20
14.	Kalium (K_2O)	%	0,2	-
Bakteri				
15.	Fecal coli	MPN/g		1000
16.	Salmonela sp.	MPN/4g		3

Sumber: SNI 19-7030-2004

2.6 Daur Hidup dan Peran Cacing Tanah

Cacing tanah merupakan hewan hermafrodit, cacing jantan dan betina sama-sama menghasilkan telur pada cocoon yang akan menjadi cacing dewasa tanpa melewati fase larva. Fase cacing dewasa memiliki selaput seperti tisu pada bagian depan segmen tubuhnya yang disebut dengan clitellum. Makanan cacing tanah merupakan material organik yang telah membusuk di dalam tanah. Cacing tanah juga memakan daun atau material tumbuhan lain yang tersedia pada permukaan tanah. Material organik yang besar tidak secara langsung dimakan oleh cacing,

tetapi dibawa oleh cacing ke dalam lubang terlebih dahulu pada kedalaman 2,5-7,5 cm. Makanan itu kemudian dilumuri dengan enzim pencernaan, kemudian dicerna menjadi zat tepung agar mudah diserap oleh tubuh cacing.

Hasil ekskresi cacing merupakan material yang terdekomposisi dan terkonsentrasi yang disebut cascing. Bentuk cascing berbeda-beda setiap spesies. Cascing mengandung mikroorganisme, mineral anorganik, dan materal organik yang dapat diserap oleh tanaman. Cascing juga mengandung enzim seperti protease, amilase, lipase, selulase, dan chitinase yang dapat memecah material organik setelah diekskresikan oleh cacing (Gajalakshmi dan Abbasi, 2004)

Peranan cacing tanah sangat penting dalam proses dekomposisi bahan organik tanah. Bersama-sama mikroba tanah lainnya terutama bakteri, cacing tanah ikut berperan dalam siklus biogeokimia. Cacing tanah memakan serasah daun dan materi tumbuhan yang mati lainnya, dengan demikian materi tersebut terurai dan hancur. Cacing tanah juga berperan dalam menurunkan rasio C/N bahan organik, dan mengubah nitrogen tidak tersedia menjadi nitrogen tersedia setelah dikeluarkan berupa kotoran (cascing). Terdapat interaksi antara pemberian bahan organik dan cacing tanah terhadap status hara tanah terutama N dan K, dan pemberian inokulan cacing tanah juga berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan P tersedia pada tanah ultisols. Selain itu cacing tanah meningkatkan kandungan total bakteri dan Rhyzopus pada tanah steril (Anwar, 2009).

2.6.1 Cacing *Eudrilus eugeniae*

E. eugeniae memiliki warna campuran abu-abu dan ungu. *E. eugeniae* memproduksi kotoran dalam jumlah besar. *E. eugeniae* diperkirakan mampu memakan zat organik sejumlah 1,5 kali berat tubuhnya setiap hari. *E. eugeniae* hidup berkoloni

dan berdekatan. Hal ini mendorong reproduksi yang tinggi. Pada kondisi ideal, *E. eugeniae* mencapai kematangan reproduksi dalam 5 minggu. *E. eugeniae* memproduksi rata-rata 3,5 telur cacing dalam seminggu (Anandharaj, 2014).

Cacing tanah berperan dalam dekomposisi bahan organik, baik secara langsung sebagai pemakan bahan organik maupun secara tidak langsung dengan mencampur bahan organik ke dalam tanah dan merangsang aktivitas mikroorganisme pada kotorannya dan sekitar liang. Sebagian besar bahan mineral yang dicerna cacing tanah dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk kotoran (cascing) yang lebih bermanfaat bagi tanaman (Suthar, 2009). Cacing *E. eugeniae* memiliki cara reproduksi secara amfimiktik (perkawinan silang), tumbuh dalam waktu 40-49 hari, inkubasi telur selama 12-16 hari, daur hidup 75-84 hari, produksi telur per hari 0,42-0,51, kelembaban optimum 80%, dan suhu optimum 25°C (Lowe *et al.,* 2014).

2.6.2 Cacing *Lumbricus rubellus*

Karakteristik cacing *L. rubellus* adalah bagian atas merah kecoklatan atau merah ungu, permukaan bawah berwarna pucat dan menempati lapisan tanah paling atas. Reproduksi secara seksual dengan jumlah 2-3 kokon (telur cacing) per minggu dan umur dewasa 2,5-3 bulan.

Makanan cacing *L. rubellus* terdiri atas daun-daunan, sisa-sisa tumbuhan atau hewan yang ada di dalam tanah, kotoran sapi, sampah sisa makanan, kertas dan sampah sayur. Materi-materi tersebut dikumpulkan pada waktu malam hari dimana hewan tersebut aktif keluar dari persembunyiannya dan menggaruk tanah dengan ekornya. Tanah yang mengandung sisa makanan ditelan masuk mulut lalu ke faring, di sini terdapat sekresi kelenjar faring kemudian ke esofagus, kemudian disimpan

di dalam krop. Dalam esofagus makanan dapat sekresi dari kelenjar *calciferous* guna menetralisir makanan yang bersifat asam. *Gizzard* sebagai alat penggiling bekerja menghancurkan bahan-bahan makanan yang bercampur dengan tanah. Pada akhirnya zat-zat makanan akan diserap oleh pembuluh darah dan sisa-sisa zat makanan akan dibuang.

Pada umumnya cacing tanah membutuhkan kelembaban yang cukup dan tidak mampu hidup pada kondisi kering atau daerah padang pasir. Air diperlukan untuk ekskresi, pembasahan kulit untuk respirasi dan melicinkan tubuh untuk bergerak dalam liang, tetapi sebagian cacing tanah mampu bertahan hidup pada kondisi kering dengan berdiam diri selama beberapa bulan atau berada pada kondisi diapaus. Diapaus adalah pelambatan perkembangan sebagai tanggapan terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Rahmatullah, 2013).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai vermikomposting menggunakan cacing tanah jenis *Eudrilus eugeniae dan Lumbricus rubellus* telah banyak dilakukan. Penelitian terdahulu digunakan sebagai acuan dan pembelajaran dalam penelitian selanjutnya. Adapun penelitian tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No.	Cacing	Material Organik	Waktu Pengomposan	Hasil Penelitian	Literatur
1	*Lumbricus rubellus*	Pelepah pisang, tikar pandan	30 hari	Suhu: 27°C - 28°C pH: 7,0 - 8,0 Ntot: 2,53% Ptot: 0,412% C/N: 13,583	(Rahmatullah, 2013)
2	*Eudrillus eugeniae*	Sampah dapur, serabut kelapa	75 hari	Suhu: 28°C TKN: 0,11%-0,54% C: 0,3%-0,4% pH: 7,0-8,0 Kelembaban: 42%	(Anandharaj, 2014)
3	*Lumbricus rubellus* dan *Eisenia fetida*	Lumpur industri kecap	60 hari	pH: 6,8 - 7,49 C/N: 15-35 Ntot: 0,4% - 1,4% Ptot: 0,2% - 1,2%	(Fabianus, 2014)

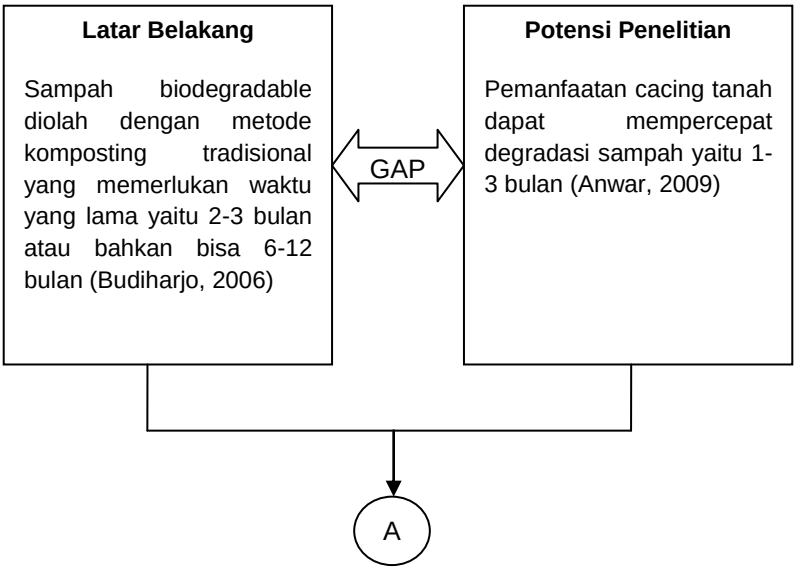
No.	Cacing	Material Organik	Waktu Pengomposan	Hasil Penelitian	Literatur
4	*Eudrillus eugeniae* dan *Eisenia fetida*	Sampah kebun	60 hari	TKN: 0,62%-1,04% Ntot: 1,40%-5,76% C/N: 16,16-36,64	(Rahmawati, 2015)
5	*Eudrillus eugeniae* dan *Lumbricus rubellus*	Sampah kebun dan sampah sayur	60 hari	pH: 6,72-7,11 Suhu: 28°C C/N: 10,68-14,85 Kelembaban: 40,45%-42,12%	(Khoirunnisa, 2016)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Bahan uji yang digunakan berupa sampah kebun dari Rumah Kompos Bratang dan lumpur biologis dari IPLT Keputih. Penelitian ini didasarkan pada kerangka penelitian yang terdiri dari “GAP” antara kondisi ideal dengan kondisi eksisting sehingga dapat ditentukan rumusan masalah dan tujuan dari adanya penelitian ini. Selanjutnya, dilakukan persiapan penelitian yang terdiri dari persiapan alat dan bahan serta penelitian pendahuluan sehingga memudahkan dalam pelaksanaan penelitian. Kemudian, menganalisis dan membahas hasil penelitian untuk merumuskan kesimpulan. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



A

Rumusan Masalah

- Bagaimana kemampuan cacing *Eudrilus eugeniae* dan cacing *Lumbricus rubellus* dalam mendegradasi sampah kebun dan lumpur biologis?
- Bagaimana pengaruh durasi pra-komposting dan durasi vermikomposting dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis?
- Bagaimana pengaruh jenis cacing dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis?

Tujuan

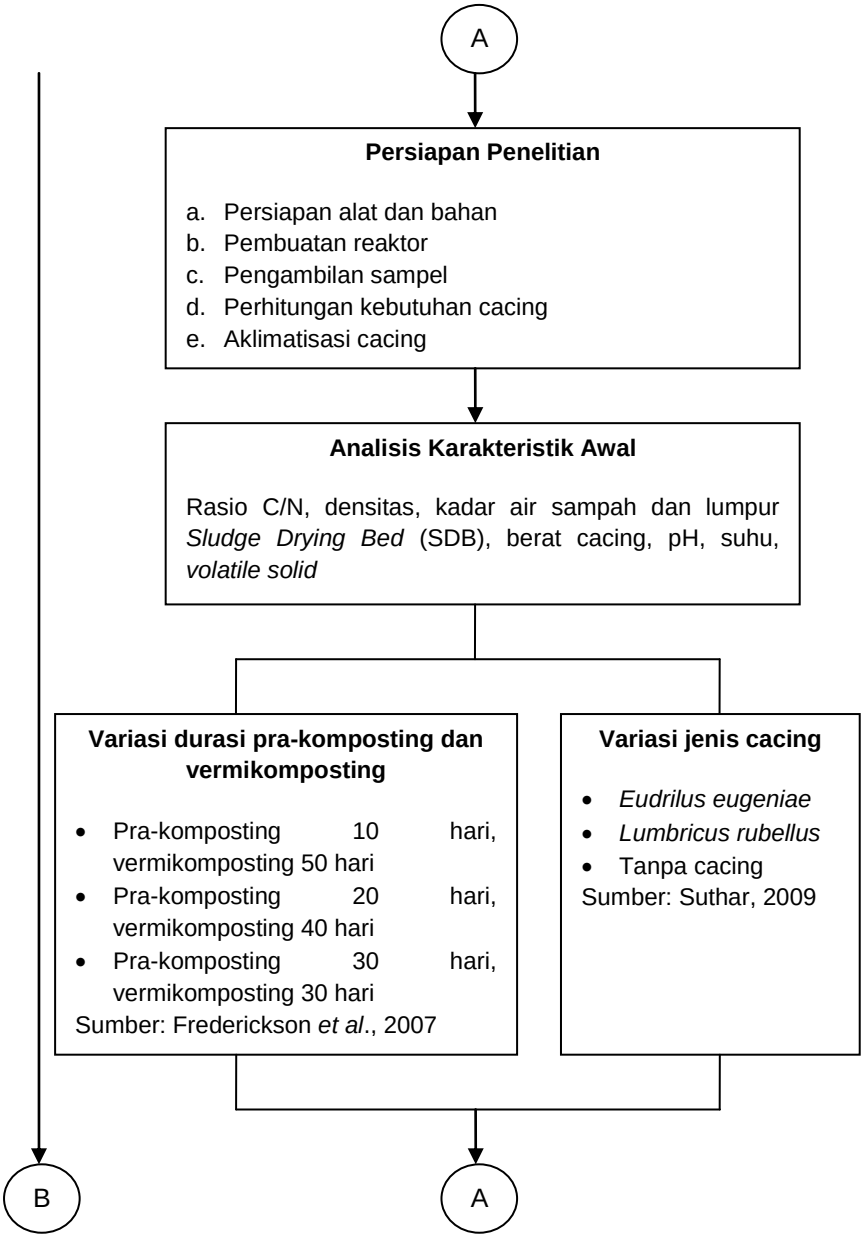
- Menentukan kemampuan cacing *Eudrilus eugeniae* dan cacing *Lumbricus rubellus* dalam mendegradasi sampah kebun dan lumpur biologis
- Menentukan pengaruh durasi pra-komposting dan durasi vermikomposting dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis
- Menentukan pengaruh jenis cacing dalam proses pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis

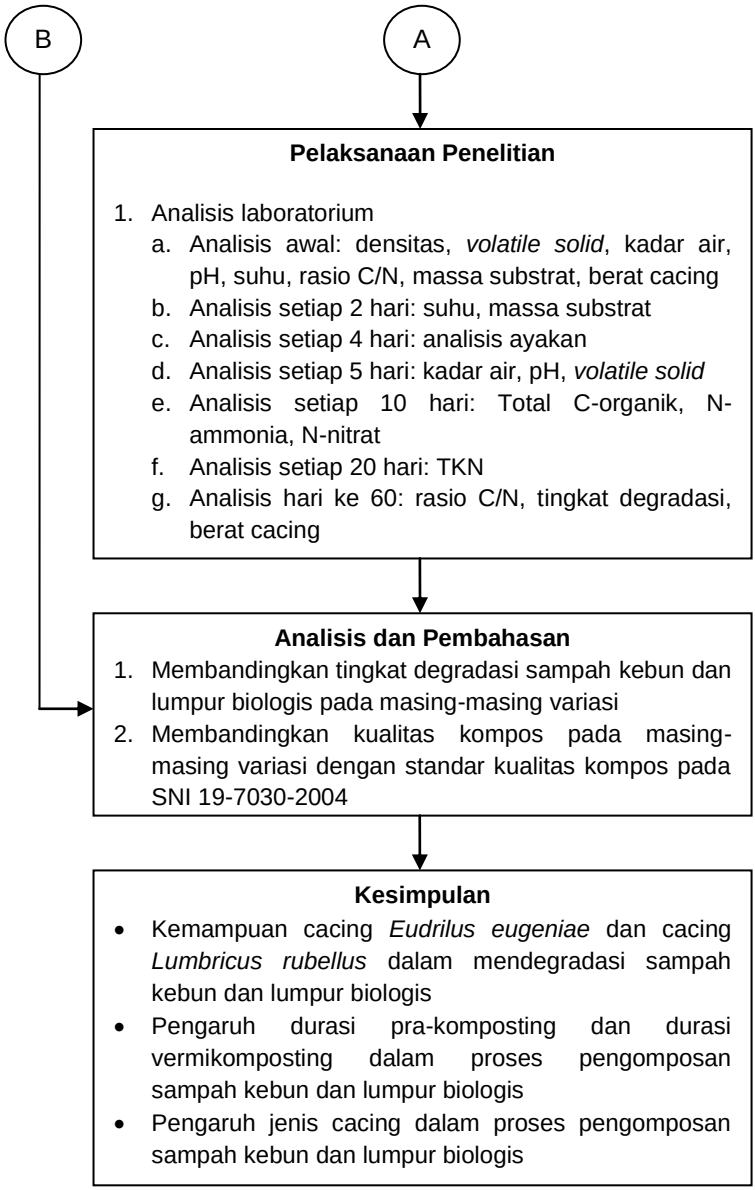
Studi Literatur

Cacing *E. eugeniae* dan *L. rubellus*, degradasi bahan organik oleh cacing, faktor yang mempengaruhi degradasi bahan organik, parameter kematangan kompos dan cara pengujiannya

B

A


A
Persiapan Penelitian
a. Persiapan alat dan bahan
b. Pembuatan reaktor
c. Pengambilan sampel
d. Perhitungan kebutuhan cacing
e. Aklimatisasi cacing
Analisis Karakteristik Awal
Rasio C/N, densitas, kadar air sampah dan lumpur Sludge Drying Bed (SDB), berat cacing, pH, suhu, volatile solid
Variasi durasi pra-komposting dan vermikomposting
• Pra-komposting 10 hari, vermikomposting 50 hari
• Pra-komposting 20 hari, vermikomposting 40 hari
• Pra-komposting 30 hari, vermikomposting 30 hari
Sumber: Frederickson et al., 2007
Variasi jenis cacing
• Eudrilus eugeniae
• Lumbricus rubellus
• Tanpa cacing
Sumber: Suthar, 2009
B
A



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

Jumlah reaktor yang digunakan sebanyak 9 reaktor. Reaktor kontrol berjumlah 3, kontrol ini digunakan untuk mengetahui kondisi pengomposan tanpa adanya penambahan cacing. Variasi reaktor dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Reaktor Penelitian

No.	Nama Reaktor	Jenis Cacing	Pra-komposting	Jumlah Reaktor
1	P10-EE	*E. eugeniae*	10 hari	1
2	P20-EE	*E. eugeniae*	20 hari	1
3	P30-EE	*E. eugeniae*	30 hari	1
4	P10-LR	*L. rubellus*	10 hari	1
5	P20-LR	*L. rubellus*	20 hari	1
6	P30-LR	*L. rubellus*	30 hari	1
7	P10-K	-	10 hari	1
8	P20-K	-	20 hari	1
9	P30-K	-	30 hari	1
		Total		9

Keterangan:
EE = *E. eugeniae*
LR = *L. rubellus*
P10 = Pra-komposting 10 hari
P20 = Pra-komposting 20 hari
P30 = Pra-komposting 30 hari
K = Kontrol tanpa cacing

3.2 Ide Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya dan dalam upaya pemanfaatan cacing tanah sebagai dekomposer yang mempercepat proses pengomposan bahan organik maka perlu dilakukan upaya optimalisasi pengolahan lumpur biologis dan sampah kebun. Ide penelitian yang dilaksanakan adalah kombinasi proses pra-komposting dan vermikomposting menggunakan *E. eugeniae* dan *L. rubellus* untuk pengomposan lumpur biologis unit SDB dan sampah kebun.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan dasar teori yang kuat dan berkaitan dengan penelitian. Studi literatur digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan kegiatan penelitian. Sumber literatur meliputi *text book*, jurnal/artikel ilmiah, laporan penelitian, dan tugas akhir terdahulu yang berhubungan dengan penelitian. Penelitian ini menggunakan literatur tentang cacing *E. eugeniae* dan *L. rubellus*, degradasi bahan organik oleh cacing, faktor yang mempengaruhi degradasi bahan organik, parameter kematangan kompos dan cara pengujiannya.

3.4 Persiapan Penelitian

Persiapan yang dilakukan meliputi menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan selama penelitian berlangsung, menyiapkan reaktor penelitian, pengambilan sampel, menghitung kebutuhan cacing dan aklimatisasi cacing.

3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain sampah kebun berasal dari Rumah Kompos Bratang, lumpur biologis unit SDB IPLT Keputih, reaktor plastik, pH meter, termometer, oven, desikator, furnace, *glassware* (sesuai kebutuhan), spektrofotometer, mortar dan alu, kompor listrik, labu destilasi, neraca analitik, dan reagen yang diperlukan selama berjalannya penelitian.

3.4.2 Pembuatan Reaktor

Reaktor penelitian terdiri dari reaktor untuk pra-komposting dan reaktor untuk vermikomposting. Reaktor pra-komposting dan vermikomposting dibedakan dengan tujuan untuk

mendapatkan kondisi awal bahan kompos yang sama untuk proses vermikomposting. Reaktor pra-komposting terbuat dari bahan plastik. Bak untuk pra-komposting berukuran Ø 49,5 cm x 91,7 cm. Gambar reaktor pra-komposting dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Gambar 3.2 Reaktor Pra-komposting

Reaktor vermikomposting terbuat dari bahan plastik dengan ukuran 28 cm x 21 cm x 18 cm. Bagian atas reaktor akan diberi kain basah penutup untuk menjaga kelembaban dalam reaktor serta untuk menjaga kondisi di dalam reaktor agar tetap gelap, karena cacing sensitif terhadap cahaya. Jumlah bak yang digunakan adalah 9 reaktor, dengan rincian 3 reaktor untuk substrat dengan cacing jenis *E. eugeniae*, 3 reaktor untuk substrat dengan cacing jenis *L. rubellus*, dan 3 reaktor adalah reaktor kontrol. Gambar reaktor vermikomposting dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Gambar 3.3 Reaktor Vermikomposting

Reaktor vermikomposting disusun di rak kayu berukuran 200 cm x 150 cm x 50 cm. Kaki rak dialasi menggunakan gelas yang diberi air dengan tujuan untuk menghindari merangkaknya semut ke dalam reaktor pengomposan yang akan mengganggu aktivitas cacing. Rak terdiri dari 4 (empat) tingkatan. Gambar rak dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Gambar 3.4 Rak Reaktor Vermikomposting

3.4.3 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan setelah diketahui jumlah kebutuhan sampah kebun dan lumpur biologis, baik untuk vermikomposting dan untuk pra-komposting. Sampah dicacah terlebih dahulu dengan tujuan memperkecil ukuran sampah sehingga mempermudah cacing mencernanya. Perhitungan jumlah berat sampah dan lumpur yang diperlukan dimulai dengan menghitung perbandingan massa antara lumpur biologis dan sampah kebun adalah sebagai berikut.

Perbandingan massa antara sampah kebun dan lumpur biologis yang digunakan adalah 1:1. Setelah diketahui perbandingan massa antara kedua material organik, kemudian dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan sampah kebun dan lumpur biologis berdasarkan massa kering total per reaktor yaitu 600 g (Rahmawati, 2015).

a. Sampah Kebun

Massa kering sampah kebun = $\frac{1}{2}\ x\ 0{,}6\ kg$ = 0,3 kg x 9 reaktor

= 2,7 kg

Kadar air = 36,01%

Massa basah sampah kebun = $\frac{massa\ \ kering\ \ x\ 100}{100 - kadar\ \ air}$

= $\frac{0{,}3\ kg\ x\ 100}{100 - 36{,}01}$

= 0,47 kg x 9 reaktor

= 4,23 kg

b. Lumpur Biologis

Massa kering lumpur biologis= $\frac{1}{2}\ x\ 0{,}6\ kg$ = 0,3 kg x 9 reaktor

= 2,7 kg

Kadar air = 69,68%

Massa basah lumpur biologis= $\frac{massa\ \ kerin\ g\ x\ 100}{100 - kadar\ \ air}$

= $\frac{0{,}3\ kg\ x\ 100}{100 - 69{,}68}$

= 0,99 kg x 9 reaktor

= 8,91 kg

3.4.4 Perhitungan Kebutuhan Cacing

Perhitungan jumlah cacing dilakukan berdasarkan literatur yang ada. Kemudian akan dilakukan aklimatisasi cacing, sebagai usaha agar cacing beradaptasi terhadap lingkungan. Perhitungan jumlah kebutuhan cacing adalah sebagai berikut.

Berat kering cacing = 45 g per 1 kg substrat (Rahmawati, 2015)

Kadar air cacing *E. eugeniae* = 79,67%

Kadar air cacing *L. rubellus* = 77,72%

Jumlah cacing yang dibutuhkan untuk massa kering 0,6 kg substrat:

$= \frac{0{,}045\ kg}{1\ kg\ substrat}\ x\ 0{,}6\ kg$ = 0,027

Massa basah cacing *E. eugeniae*

$= \frac{massa\ \ kering\ \ x\ 100}{100 - kadar\ \ air}$

$= \frac{0{,}027\ kg\ x\ 100}{100 - 79{,}67}$

= 0,133 kg

Massa basah cacing *L. rubellus*

$= \frac{massa\ \ kering\ \ x\ 100}{100 - kadar\ \ air}$

$= \frac{0{,}027\ kg\ x\ 100}{100 - 77{,}72}$

= 0,121 kg

3.4.5 Aklimatisasi Cacing

Aklimatisasi dilakukan dengan membiarkan cacing pada media hidup cacing ditambah dengan kompos sampah kebun dari Departemen Teknik Lingkungan. Aklimatisasi bertujuan untuk mempersiapkan cacing dan sarana adaptasi cacing dengan substrat yang bertindak sebagai media tumbuh cacing. Aklimatisasi ini akan dipilih cacing yang mampu bertahan hidup

selama proses aklimatisasi, yang ditandai dengan tidak keluarnya cacing pada media aklimatisasi. Cacing yang tidak keluar dari reaktor selama proses aklimatisasi, akan digunakan untuk vermikomposting. Cacing yang digunakan dalam aklimatisasi adalah *E. eugeniae* dan *L. rubellus*. Perbandingan karakter cacing meliputi warna, suhu optimum, berat rata-rata cacing, dan jenis makanan (Singh *et al*., 2011). Karakteristik cacing dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan gambar cacing dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Selama proses aklimatisasi, cacing akan beradaptasi dengan lingkungan dan media. Dari hasil pengamatan, cacing keluar reaktor karena mengalami perbedaan suhu lingkungan yang drastis. Adaptasi cacing ditandai dengan adanya sebagian cacing yang keluar reaktor dan sebagian lagi bertahan dalam reaktor.

Tabel 3.2 Karakteristik Cacing Tanah

Parameter	*E. eugeniae*	*L. rubellus*
Warna	Abu-abu dan ungu	Coklat kemerahan
Suhu optimum (°C)	21-29	25-30
Berat rata-rata cacing dewasa (g)	1-1,5	0,8
Makanan	Sampah buah tidak asam, sampah sayur, sampah kebun, nasi, pupuk kandang	Sampah sayur, sampah kebun, sisa makanan, kotoran sapi

(Singh *et al*., 2011)

Gambar 3.5 Cacing: (a) *E. eugeniae*; (b) *L. rubellus*

3.5 Analisis Karakteristik Awal

Percobaan pendahuluan yang dilakukan adalah mengukur karakteristik kimia sampah kebun dan lumpur biologis. Analisis karakteristik sampah dan lumpur yang dilakukan adalah analisis densitas, suhu, kadar air, volatile solid, pH, C-organik, TKN, N-nitrat, N-ammonia, dan rasio C/N.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dari tahap pra-komposting dengan durasi 10 hari, 20 hari dan 30 hari hingga vermikomposting dengan durasi 50 hari, 40 hari dan 30 hari dengan total waktu pengomposan selama 60 hari. Perlakuan selama penelitian adalah analisis laboratorium meliputi parameter suhu, kadar air, volatile solid, pH, C-organik, TKN, N-nitrat, N-ammonia, dan rasio C/N.

3.6.1 Pra-Komposting

Pra-komposting yang dilakukan selama 10 hari, 20 hari dan 30 hari baru kemudian cacing dimasukkan untuk mengalami proses vermikomposting. Pra-komposting ini dilakukan terhadap substrat untuk masing-masing durasi pra-komposting. Pra-komposting dilakukan dengan mencampurkan sampah kebun yang telah dicacah dengan lumpur biologis kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pra-komposting untuk dilakukan pengomposan selama 10 hari, 20 hari dan 30 hari. Pra-komposting dilakukan

dengan membiarkan sampah di dalam reaktor dengan perlakuan pengadukan dan analisis laboratorium. Pra-komposting dilakukan untuk mengurangi kadar ammonia, kadar air, pH, dan menstabilkan suhu. Pra-komposting perlu dilakukan karena melihat penelitian sebelumnya Anggraeni (2015), dengan tidak adanya pra-komposting, cacing mengalami kematian pada awal pengomposan sehingga dilakukan penelitian ulang.

Selama proses pra-komposting, dilakukan analisis terhadap parameter kadar air, *volatile solid*, suhu, pH, dan rasio C/N. Sebelum melakukan pra-komposting, terlebih dahulu dilakukan analisis karakteristik sampah dan lumpur. Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa bahan sudah siap dan bisa untuk digunakan sebagai bahan vermikomposting. Rasio C/N dan kadar air dianalisis dan dihitung sebelum penelitian dilakukan. Perhitungan bertujuan untuk menentukan keefektifan bahan untuk digunakan sebagai bahan baku kompos. Karakteristik sampah organik yang dapat digunakan sebagai bahan pengomposan adalah rasio C/N 25-50, kelembaban 50%-60%, ukuran partikel 25 mm-75 mm, pH 7,0-7,5, suhu operasi awal 30°C- 38°C pada fase mesofilik (Tchobanoglous *et al*., 1993).

Diketahui:

Kadar air sampah kebun = 36,01%

Kadar air lumpur biologis = 69,68%

Berat basah sampah kebun = 4,23 kg

Berat basah lumpur biologis = 8,91 kg

Perhitungan kadar air campuran:

$$= \frac{(36{,}01x4{,}23)+(69{,}68x8{,}91)}{(4{,}23+8{,}91)}$$

= 58,84%

Berdasarkan perhitungan nilai kadar air diatas, maka bahan campuran antara sampah kebun dan lumpur biologis dalam satu reaktor telah memenuhi persyaratan minimum kadar air bahan kompos yaitu 50%-60%.

3.6.2 Vermikomposting

Pengomposan menggunakan cacing atau vermikomposting dilakukan dengan durasi 50 hari, 40 hari dan 30 hari dengan adanya penentuan parameter melalui analisis laboratorium dan pengontrolan variabel fisik lainnya. Pengomposan akan diberhentikan jika sampah telah menjadi kompos dengan kualitas sesuai SNI 19-7030-2004 yaitu kadar air maksimum 50%, suhu kompos sesuai suhu air tanah, pH 6,8-7,49, kadar C 9,8%-32%, kadar N 0,4% dan rasio C/N 10-20. Berdasarkan uraian tersebut maka penelitian yang dilakukan menggunakan dua variasi yaitu variasi jenis cacing dan durasi pra-komposting.

a. Variasi jenis cacing
   Jenis cacing yang akan digunakan ada tiga jenis yaitu *E. eugeniae* dan *L. rubellus*.
b. Variasi pra-komposting
   Variasi pra-komposting yang digunakan ada tiga macam yaitu pra-komposting 10 hari, pra-komposting 20 hari, dan pra-komposting 30 hari.

3.6.3 Metode Analisis Sampel

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan standard method SNI yang berlaku serta alat dan bahan yang tersedia di laboratorium. Parameter yang digunakan meliputi densitas, *volatile solid*, kadar air, pH, suhu, total C-organik, TKN, N-ammonia, N-nitrat, rasio C/N, massa substrat, analisis ayakan, degradasi sampah, dan berat kering cacing. Interval waktu yang digunakan dalam analisis laboratorium adalah 0 hari, setiap 2 hari, 4 hari, 5 hari, 10 hari, dan 20 hari.

a. pH

Pengukuran pH digunakan untuk mengetahui kematangan kompos dan merupakan faktor yang penting bagi mikroorganisme serta cacing untuk mendekomposisikan material organik. Derajat keasaman diukur pada awal pengomposan dan setiap 5 hari sekali selama pengomposan. Prosedur pengukuran pH dapat dilihat pada Lampiran A. Untuk pengambilan sampel dilakukan pada permukaan dengan menggunakan spatula agar tidak mengganggu proses pengomposan yang sedang berlangsung.

b. Suhu

Suhu diukur menggunakan alat termometer dengan kedalaman pengukuran setengah kedalaman dari dasar kompos di dalam reaktor. Suhu merupakan salah satu indikator yang menandakan perubahan aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik dan merupakan indikator kematangan kompos yaitu 28°C-30°C. Parameter suhu juga dapat menunjukkan keseimbangan antara energi panas yang dihasilkan dan faktor pengudaraan (aerasi). Suhu diukur pada awal pengomposan dan setiap 2 hari sekali selama pengomposan. Jika suhu dalam reaktor terlalu tinggi, maka perlu perlakuan lebih lanjut. Perlakuan tersebut adalah memindahkan reaktor ke tempat yang terhindar dari matahari atau bisa juga dengan menyemprotkan air sedikit demi sedikit ke dalam reaktor. Prosedur pengukuran suhu dapat dilihat pada Lampiran A.

c. Kadar air dan *volatile solid*

Tujuan dari pengukuran kadar air adalah untuk mengurangi resiko gangguan terhadap cacing akibat media yang terlalu lembab, sedangkan pengukuran *volatile solid* dilakukan untuk mengetahui kadar karbon dalam media. Kadar air dan *volatile solid* diukur pada

awal pengomposan dan setiap 5 hari sekali selama pengomposan. Untuk menjaga kadar air dalam reaktor agar selalu dalam kondisi optimum yaitu dengan memberi kain basah penutup untuk menjaga kelembaban (jika kadar air terlalu rendah) dan mengangin-anginkan reaktor di bawah sinar matahari (jika kadar air terlalu tinggi). Prosedur pengukuran kadar air dan *volatile solid* tercantum dalam Lampiran A. Untuk pengambilan sampel dilakukan pada permukaan dengan menggunakan spatula agar tidak mengganggu proses pengomposan yang sedang berlangsung.

d. Massa substrat dan analisis ayakan

Pengukuran massa substrat dilakukan untuk mengontrol besarnya substrat yang hilang baik dalam bentuk CO_2 maupun senyawa lainnya yang lepas. Selain itu juga dilakukan pengukuran berat sisa cacing berdasarkan berat basah. Ini digunakan mengontrol berapa cacing yang masih hidup.

Analisis ayakan dilakukan untuk mengetahui massa kompos yang terbentuk. Analisis ayakan menggunakan ayakan diameter lubang 0,1 cm. Dilakukan dengan mengayak substrat dalam reaktor beberapa bagian yaitu sekitar 5%. Substrat yang lolos dari ayakan adalah kompos, sehingga akan diketahui persentase pembentukan kompos setiap 4 hari.

e. Rasio C/N

C yang diukur adalah sebagai TOC (*Total Organic Carbon)* menggunakan metode Walkley dan Black, sedangkan N yang diukur adalah sebagai TKN (*Total Kjeldahl Nitrogen)*, nitrogen ammonia (NH3-N), dan nitrogen nitrat (NO3-N). Penyajian C/N dihitung dalam bentuk TOC/N total. N-total diperoleh dengan menambahkan TKN dan N-nitrat. Prosedur pengukuran

TOC, TKN, N-ammonia, N-nitrat tercantum dalam Lampiran A.

f. Berat kering cacing

Berat cacing diukur sebelum pengomposan dan sesudah dilakukan pengomposan. Pengukuran berat kering cacing menggunakan metode gravimetri. Pengukuran berat cacing pada penelitian pendahuluan digunakan untuk mengetahui besarnya cacing yang harus digunakan untuk vermikomposting. Pada tahap penelitian berfungsi untuk mengetahui besarnya makanan yang diserap oleh cacing dalam bentuk protein selama proses komposting. Hasil pengukuran ini akan didapatkan jumlah berat kering sampah (g) yang mampu dicerna oleh cacing (g) sehingga menghasilkan satuan berat cacing (g) per berat sampah (g).

Metode analisis untuk setiap parameter disajikan pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Metode Analisis Sampel

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Tujuan	Metode	Sumber
1	Densitas	Awal	Mengetahui besarnya sampah dan lumpur yang mampu untuk didegradasi	Perbandingan	-
2	*Volatile solid*	Awal, 5 hari sekali	Mengetahui kandungan organik yang dapat didekomposisi	Gravimetri	SNI 06-6989.26-2005
3	Kadar air	Awal, 5 hari sekali	Indikator kematangan kompos	Gravimetri	SNI 06-6989.26-2005
4	pH	Awal, 5 hari sekali	Indikator kematangan	pH meter	SNI 06-6989.1

			kompos		1-2004
5	Suhu	Awal, 2 hari sekali	Memantau suhu agar cacing tetap hidup dalam lingkungan yang sesuai dan sebagai indikator kematangan kompos	Termometer	SNI 06-6989.23-2005
6	Total C-organik	10 hari sekali	Mengetahui kadar C dalam kompos	Walkley dan Black	Thom dan Utomo, 1991
7	TKN	20 hari sekali	Mengetahui kadar N dalam kompos	Nessler	SNI 06-6989.30-2005
8	N-ammonia	10 hari sekali	Mengetahui kadar N dalam ammonia pada kompos	Nessler	SNI 06-6989.30-2005
9	N-nitrat	10 hari sekali	Mengetahui kadar N dalam nitrat pada kompos	Nessler	SNI 6989.79-2011
10	Rasio C/N	Awal dan akhir	Indikator kematangan kompos	Perbandingan	-
11	Berat cacing	Awal dan akhir	Menentukan berat kering cacing yang dibutuhkan untuk degradasi sampah dan lumpur	Gravimetri	SNI 06-6989.26-2005
12	Analisis ayakan	4 hari sekali	Mengetahui besarnya kompos yang terbentuk setiap 4 hari	Pengukuran langsung	Rahmawati, 2015

		sekali selama proses pengomposan

3.7 Hasil dan Pembahasan

Pada hasil dan pembahasan akan dijelaskan dalam bentuk tabel, grafik, maupun deskriptif yang juga mengacu pada literatur yang ada supaya didapatkan hasil yang akurat. Data hasil penelitian yang akan dibahas pada bagian ini meliputi:

a. Membandingkan tingkat degradasi sampah kebun dan lumpur biologis pada masing-masing variasi yang didapatkan dari hasil pengukuran berat kering cacing, berat kering sampah, jumlah kompos yang terbentuk, reduksi sampah berdasarkan berat basah dan perubahan nilai berdasarkan parameter kualitas kompos.
b. Membandingkan kualitas kompos dengan standar SNI 19-7030-2004 yang didapatkan dari hasil pengukuran rasio C/N, suhu, pH dan kadar air hingga waktu pengomposan 60 hari pada masing-masing reaktor dengan jenis cacing yang berbeda yaitu cacing *E. eugeniae* dan *L. rubellus*.
c. Menghitung besarnya reduksi dan degradasi sampah dan lumpur yang dapat dilakukan masing-masing jenis cacing dengan cara membagi berat basah cacing dengan berat basah sampah yang hilang.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran diperoleh dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan. Kesimpulan yang akan disampaikan berisi tentang jawaban atas tujuan penelitian berdasarkan hasil penelitian, sedangkan saran berisi evaluasi dan perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan penelitian yang dilakukan meliputi menyiapkan reaktor penelitian, pengambilan bahan baku komposting, dan aklimatisasi cacing. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah kebun, lumpur biologis unit SDB, dan cacing tanah. Pelaksanaan penelitian dimulai dari tahap pra-komposting dengan durasi 10 hari, 20 hari, dan 30 hari kemudian dilanjutkan tahap vermikomposting dengan durasi 50 hari, 40 hari, dan 30 hari dengan total waktu pengomposan selama 60 hari.

4.1 Analisis Karakteristik Awal

Percobaan pendahuluan yang dilakukan adalah mengukur karakteristik kimia sampah kebun dan lumpur biologis. Analisis karakteristik sampah dan lumpur yang dilakukan adalah analisis densitas, suhu, kadar air, *volatile solid*, pH, C-organik, TKN, N-nitrat, N-ammonia, dan rasio C/N.

4.1.1 Densitas

Analisis densitas digunakan dalam penentuan massa bahan baku yang dapat masuk ke dalam reaktor. Hasil analisis densitas dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Densitas

Bahan Baku	Densitas (kg/m^3)
Sampah kebun	171,37
Lumpur biologis	1080

4.1.2 Suhu dan Kadar Air

Suhu harus dikontrol karena untuk memastikan bahwa pengomposan dapat berjalan optimum. Sedangkan analisis kadar air bertujuan untuk menentukan keefektivan bahan komposting ketika dicampur saat digunakan sebagai bahan untuk pengomposan dan untuk menentukan massa bahan baku yang dimasukkan ke dalam reaktor. Hasil analisis suhu dan kadar air dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Suhu dan Kadar Air

Bahan Baku	Suhu (°C)	Kadar Air (%)
Sampah kebun	31,3	36,01
Lumpur biologis	30,6	69,67

Peningkatan suhu terjadi dipengaruhi oleh kadar air bahan kompos. Konsumsi air yang tinggi akibat dari metabolisme mikroorganisme menyebabkan kadar air menurun, turunnya kadar air menyebabkan suhu bahan kompos meningkat. Namun dalam kenyataanya, kadar air tidak berpengaruh secara signifikan pada perubahan suhu. Suhu lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan aktivitas mikroorganisme. Pengadukan bahan dilakukan saat suhu bahan naik. Tujuannya adalah untuk mengeluarkan panas yang ada dalam bahan kompos. Penurunan suhu mengindikasikan adanya penurunan aktivitas mikroba, sebagai akibat semakin sedikit materi organik yang harus diuraikan (Sahwan, 2013). Selanjutnya dilakukan analisis kadar air terhadap cacing. Analisis kadar air cacing digunakan untuk menentukan jumlah cacing yang harus dimasukkan ke dalam satu reaktor. Hasil analisis kadar air dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Kadar Air Cacing

Bahan Baku	Kadar Air (%)
E. eugeniae	79,67
L. rubellus	77,72

4.1.3 *Volatile Solid*

Volatile solid menunjukkan kandungan organik yang dapat didekomposisi pada proses pengomposan. Hasil analisis *volatile solid* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisis *Volatile Solid*

Bahan Baku	*Volatile Solid* (%)
Sampah kebun	81,48
Lumpur biologis	78,90

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa kadar *volatile solid* sampah kebun lebih besar daripada lumpur biologis, hal ini mengindikasikan bahwa sampah kebun merupakan sumber karbon yang baik untuk pengomposan.

4.1.4 pH

pH masing-masing bahan akan mempengaruhi pH campuran kedua bahan untuk pengomposan. pH dipengaruhi oleh kandungan nitrogen sebagai hasil sintesis protein oleh mikroorganisme (Kusuma, 2012). Menurut Tchobanoglous *et al*. (1993), pH optimum bahan pengomposan adalah 7,0-7,5. Hasil analisis pH dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Analisis pH

Bahan Baku	pH
Sampah kebun	8,55
Lumpur biologis	6,78

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa pH sampah kebun lebih besar daripada pH lumpur biologis, hal ini mengindikasikan bahwa kandungan nitrogen hasil sintesis protein oleh mikroorganisme dalam sampah kebun lebih besar dibandingkan dalam lumpur biologis.

4.1.5 C-organik dan TKN

Analisis ini diperlukan untuk mengetahui konsentrasi C organik. C-organik merupakan energi bagi mikroorganisme yang digunakan untuk bernafas dan menjalankan metabolisme sehingga menghasilkan CO_2 (Kusuma, 2012). Sedangkan penentuan kadar TKN dilakukan dengan cara destruksi untuk merombak protein menjadi ammonia dan nitrogen organik. Pengukuran nitrogen berdasarkan Kjeldahl bertujuan mengetahui kandungan nitrogen yang berasal dari bahan organik dan nitrogen yang ada di dalam ammonia (Dewi dan Masithoh, 2013). Hasil analisis C-organik dan TKN dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Analisis C-organik dan TKN

Bahan Baku	C-organik (%)	TKN (%)
Sampah kebun	30,88	0,84
Lumpur biologis	32,63	1,03

Dari kedua analisis tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan nilai C/N. Rasio C/N merupakan parameter

kematangan kompos. Bahan kompos yang baik memiliki rentang rasio C/N total 25-50 (Tchobanoglous *et al*., 1993). Rasio C/N menunjukkan mutu bahan kompos yang digunakan. Rasio C/N yang tinggi menunjukkan kandungan selulosa dan lignin yang tinggi pada bahan, sehingga dekomposisi bahan sulit begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu, rasio C/N awal suatu bahan organik yang akan didekomposisikan akan mempengaruhi laju penyediaan N dan unsur-unsur hara lainnya (Elvi, 2011). Rasio C/N dihitung dengan membandingkan nilai karbon dalam bentuk organik dengan nitrogen total. Nitrogen total dihitung dengan menjumlahkan nilai TKN dengan N-nitrat masing-masing bahan. Hasil perbandingan karbon dengan nitrogen total dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Analisis Rasio C/N

Bahan Baku	C/N
Sampah kebun	35,49
Lumpur biologis	30,21

4.1.6 N-nitrat dan N-ammonia

N-nitrat merupakan hasil perombakan protein atau N-organik oleh mikroorganisme dalam material organik. Perombakan protein menjadi ammonia kemudian menjadi nitrit dan menghasilkan nitrat serta energi (Mulyadi, 2008).

Analisis N-ammonia bertujuan untuk mengetahui besarnya nitrogen dalam gas ammonia yang terbentuk pada masing–masing bahan organik akibat adanya dekomposisi mikroorganisme pengurai. N-ammonia merupakan hasil mineralisasi N-organik yang dilepaskan ke udara (Mulyadi, 2008). Hasil analisis N-nitrat dan N-ammonia dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Analisis N-nitrat dan N-ammonia

Bahan Baku	N-nitrat (%)	N-ammonia (%)
Sampah kebun	0,03	0,21
Lumpur biologis	0,05	0,03

4.2 Pra-komposting dan Vermikomposting

Pra-komposting dilakukan dalam tiga jenis durasi yaitu 10 hari, 20 hari dan 30 hari. Pra-komposting dilakukan terhadap material organik yang bersumber dari sampah kebun dan lumpur biologis. Sampah kebun dan lumpur biologis dicampur dengan perbandingan 1:1. Pra-komposting berfungsi untuk mengurangi kandungan ammonia, kadar air, suhu dan pH dalam material organik (Lowe *et al.,* 2014). Perlakuan selama proses pra-komposting adalah pengadukan. Pengadukan bertujuan untuk menghindari kekeringan, penggumpalan dan terjebaknya udara dalam bahan kompos (Tchobanoglous *et al*., 1993).

Vermikomposting juga dilakukan dalam tiga jenis durasi yaitu 50 hari, 40 hari, dan 30 hari. Vermikomposting menggunakan dua jenis cacing yaitu *L. rubellus* dan *E. eugeniae*. Kedua jenis cacing divariasikan dengan substrat hasil pra-komposting dengan durasi masing-masing 10 hari, 20 hari dan 30 hari. Berat cacing yang dimasukkan ke dalam reaktor adalah masing-masing 45 g/reaktor dalam satuan berat kering (Rahmawati, 2015). Berdasarkan analisis kadar air cacing *L. rubellus* (77,72%) dan *E. eugeniae* (79,67%) didapatkan hasil bahwa berat basah cacing *L. rubellus* yang dimasukkan ke dalam satu reaktor adalah 121 g dan berat basah cacing *E. eugeniae* yang dimasukkan ke dalam satu reaktor adalah 133 g dengan berat kering substrat 600 g. Jumlah reaktor vermikomposting yang digunakan adalah 9 reaktor dengan rincian 3 reaktor untuk pengomposan dengan cacing *L. rubellus*, 3 reaktor untuk

pengomposan dengan cacing *E. eugeniae*, dan 3 reaktor untuk kontrol.

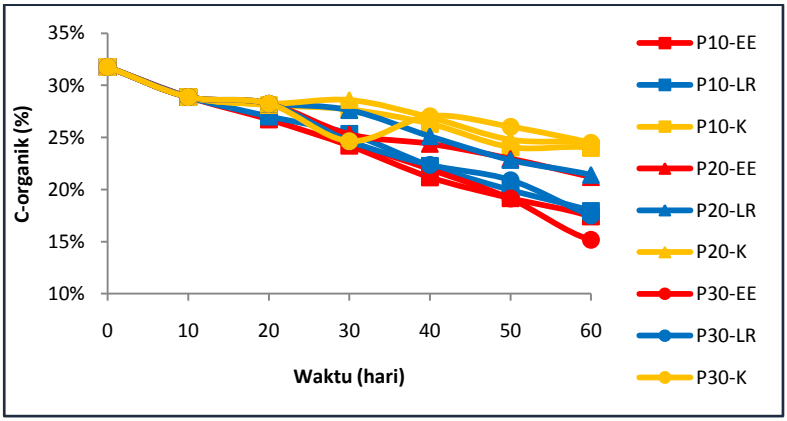
Parameter yang diuji selama proses pra-komposting dan vermikomposting adalah kadar air, *volatile solid*, pH, suhu, C-organik, N-nitrat, N-ammonia, TKN, rasio C/N, produksi kompos dan berat cacing.

4.2.1 C-organik

C-organik merupakan unsur hara dalam kompos yang dijadikan sebagai sumber energi oleh mikroorganisme (Kusuma, 2012). C-organik merepresentasikan jumlah karbon dalam kompos. Karbon merupakan salah satu parameter penentu kematangan kompos. Menurut SNI-19-7030-2004, kadar karbon kompos adalah 9,80%-32%. Menurut Tuomela (2000), komponen yang sulit didekomposisi oleh mikroorganisme adalah karbon, sehingga komponen karbon dapat mewakilkan apakah proses dekomposisi kompos berjalan optimal atau tidak. Karbon diukur untuk menghitung besarnya rasio C/N bahan pada awal pengomposan hingga akhir. Hasil ini nantinya akan dibandingkan dengan nitrogen total untuk mendapatkan rasio C/N total. Parameter rasio C/N kematangan kompos menurut Tchobanoglous *et al*. (1993), menggunakan C-total. Namun pada penelitian tidak dapat dilakukan perhitungan C-total, sehingga nilai C-organik hasil analisis diasumsikan sebagai nilai C-total dalam kompos. C-organik dianalisis setiap 10 hari. Hasil analisis C-organik dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada hari ke-60 semua reaktor mengalami penurunan konsentrasi C-organik. Penurunan C-organik dapat disebabkan karena adanya aktivitas respirasi dan asimilasi mikroorganisme dan cacing. Aktivitas ini mengubah C-organik yang tersedia menjadi gas CO_2 (Suthar dan Gairola, 2014). Penurunan konsentrasi C-organik selama 60 hari pengomposan menunjukkan bahwa pada reaktor yang

ditambahkan cacing *E. eugeniae* mengalami penurunan konsentrasi C-organik yang lebih besar daripada reaktor yang ditambahkan dengan *L. rubellus*. Hal ini menunjukkan konsumsi C-organik *E. eugeniae* lebih tinggi jika dibandingkan *L. rubellus.* Penurunan C-organik sampai hari ke-60 untuk jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 1,61% per hari, sedangkan *L. rubellus* rata-rata dapat menurunkan C-organik sebesar 1,51% per hari. Penurunan C-organik akan menyebabkan C/N turun. C/N yang rendah menunjukkan kualitas kompos yang baik. Penurunan C-organik juga terjadi pada penelitian yang dilakukan Anwar (2009) pengomposan dengan menggunakan cacing *E. eugeniae* dapat mereduksi C-organik hingga 19,4%, sedangkan menggunakan cacing *L. rubellus* dapat mereduksi C-organik sebesar 16,9%.



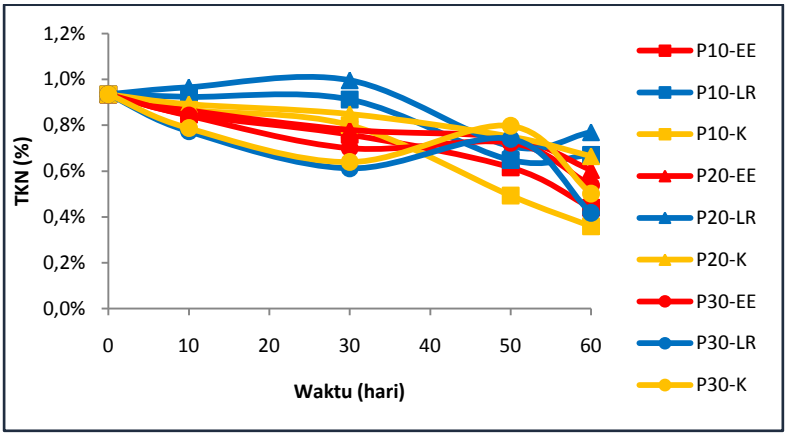
Gambar 4.1 C-organik (%) Pengomposan 60 hari

Reaktor kontrol tanpa penambahan cacing (P10-K, P20-K, P30-K) menunjukkan penurunan C-organik lebih rendah jika dibandingkan dengan rata-rata penurunan C-organik pada reaktor yang ditambahkan dengan cacing. Vermikomposting dapat menghasilkan penurunan C-organik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengomposan biasa (Singh *et al.,* 2011). Pra-komposting 10 hari menunjukkan penurunan C-organik yang tertinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Rata-rata

penurunan C-organik pada pra-komposting 10 hari sebesar 1,41% per hari. Sedangkan reaktor dengan pra-komposting 20 hari memiliki penurunan C-organik yang terendah.

4.2.2 Total Nitrogen

Total nitrogen yang dihitung adalah dalam bentuk TKN, ammonia (NH_3-N) dan nitrat (NO_3-N). Total nitrogen harus diukur karena merupakan parameter penentu kematangan kompos. Nitrogen digunakan untuk membentuk sitoplasma, dinding sel, klorofil, enzim dan metabolisme sel (Himanem, 2010). Jumlah TKN dan N-nitrat digunakan untuk menentukan N-total. Sedangkan selisih antara TKN dengan N-ammonia untuk menentukan N-organik. Menurut Pramaswari *et al.* (2011) TKN merupakan jumlah nitrogen organik dengan nitrogen anorganik. Dalam hal ini dipengaruhi oleh nitrogen ammonia serta nitrogen nitrat yang merupakan hasil perombakan dari ammonia oleh bakteri. TKN pada tahap pra-komposting dan vermikomposting dianalisis setiap 20 hari sekali, sedangkan N-ammonia dan N-nitrat dianalisis setiap 10 hari sekali. Hasil analisis TKN dapat dilihat pada Gambar 4.2.



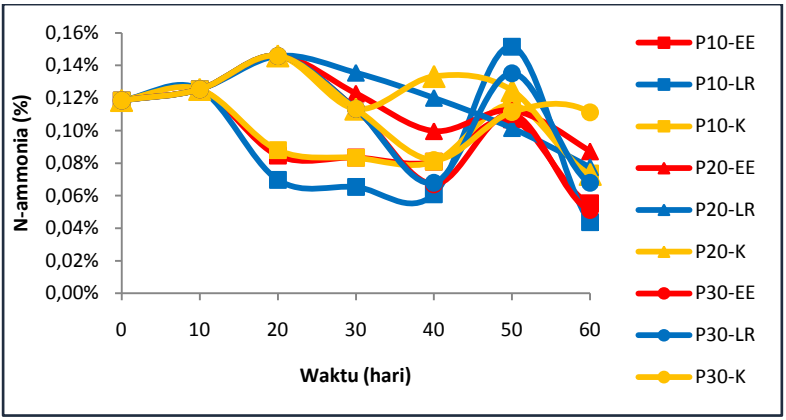
Gambar 4.2 TKN (%) Pengomposan 60 hari

Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa selama pengomposan 60 hari semua reaktor rata-rata mengalami penurunan konsentrasi TKN. Penurunan TKN disebabkan karena adanya konsumsi nitrogen oleh cacing yang diubah menjadi bentuk protein (Fernandez-Gomez *et al.,* 2010). Hal ini dikarenakan mineral nitrogen dapat dipertahankan dalam bentuk nitrat dengan transformasi nitrogen oleh cacing di dalam kotorannya (Wani *et al.,* 2013). Pada penelitian ini konsentrasi TKN turun pada hari ke-60 namun konsentrasi nitrat meningkat. Sehingga dapat disimpulkan representasi nitrogen organik diubah menjadi nitrogen dalam bentuk anorganik menjadi nitrat.

Jenis cacing *E. eugeniae* menunjukkan penurunan konsentrasi TKN yang lebih tinggi jika dibandingkan reaktor dengan penambahan cacing *L. rubellus*. Penurunan TKN sampai hari ke-60 untuk jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 1,79% per hari, sedangkan *L. rubellus* rata-rata dapat menurunkan TKN sebesar 1,39% per hari. Hal ini menunjukkan bahwa *L. rubellus* lebih baik dalam mempertahankan nitrogen dalam substrat jika dibandingkan dengan *E. eugeniae.*

Pra-komposting 30 hari memiliki penurunan TKN yang tertinggi. Rata-rata penurunan TKN pada pra-komposting 30 hari adalah 1,74% per hari. Jumlah cacing yang dapat bertahan hidup pada reaktor dengan pra-komposting 30 hari lebih banyak menyebabkan konsumsi nitrogen oleh cacing lebih besar dan diubahnya dalam bentuk anorganik sehingga menyebabkan penurunan TKN yang tinggi.

Setelah dilakukan analisis TKN, pada penelitian ini dilakukan analisis ammonia untuk mengetahui besarnya nitrogen dalam gas ammonia yang terbentuk pada masing-masing reaktor akibat adanya dekomposisi mikroorganisme pengurai dan cacing. Hasil analisis N-ammonia dapat dilihat pada Gambar 4.3.



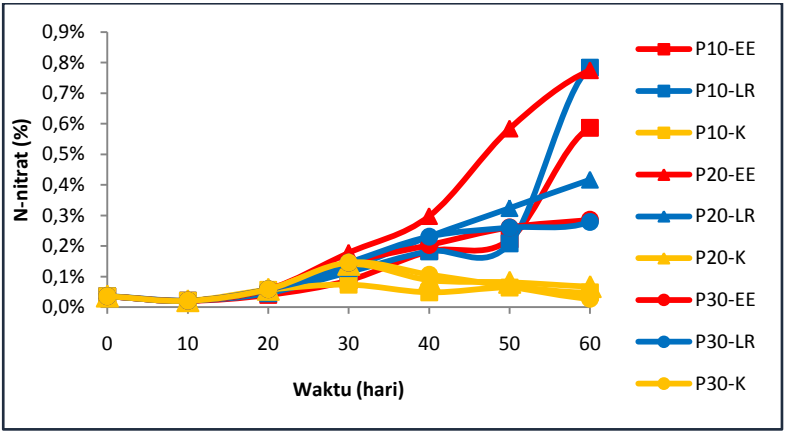
Gambar 4.3 N-ammonia (%) Pengomposan 60 hari

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa selama pengomposan 60 hari semua reaktor cenderung mengalami penurunan konsentrasi ammonia. Penurunan terbesar terjadi pada reaktor dengan jenis cacing *E. eugeniae*. Penurunan konsentrasi ammonia pada penambahan *E. eugeniae* sebesar 0,83% per hari, sedangkan pada reaktor dengan penambahan *L. rubellus* sebesar 0,70% per hari. Hal ini menunjukkan bahwa *E. eugeniae* merupakan spesies yang dapat mengubah ammonia menjadi nitrat yang lebih baik jika dibandingkan dengan *L. rubellus.* Ammonia merupakan senyawa yang akan diubah oleh nitrobakter menjadi nitrat. Nitrobakter akan meningkat dikarenakan adanya lendir pada cacing. Semakin banyak lendir yang dihasilkan maka jumlah bakteri yang terkandung di dalam substrat akan semakin banyak (Huang *et al.,* 2013). Namun jika dikaitkan dengan hasil analisis konsentrasi nitrat, pada reaktor dengan jenis cacing *L. rubellus* mengalami peningkatan nitrat yang lebih tinggi jika dibandingkan reaktor dengan jenis cacing *E. eugeniae.* Hal ini dimungkinkan karena konsentrasi ammonia yang terukur tidak semuanya diubah menjadi nitrat, akan tetapi

masih berada dalam bentuk nitrit atau telah mengalami denitrifikasi dan menjadi N_2 gas.

Selama pengomposan 60 hari, pada hari ke-50 semua reaktor rata-rata mengalami kenaikan konsentrasi ammonia. Kenaikan konsentrasi ammonia dikarenakan laju eksresi cacing dalam bentuk ammonia lebih banyak jika dibandingkan dengan laju ammonia yang diubah menjadi NO_3. Setelah mengalami kenaikan konsentrasi ammonia pada hari ke-50, pada hari ke-60 konsentrasi ammonia mengalami penurunan kembali. Penelitian Sitorus (2013) menyatakan bahwa hasil akhir pengomposan hanya menghasilkan kadar ammonia antara 0,04%-0,1%.

Setelah dilakukan analisis N-ammonia, kemudian dilakukan analisis N-nitrat untuk mendapatkan konsentrasi N total di dalam kompos. Hasil analisis N-nitrat dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 N-nitrat (%) Pengomposan 60 hari

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa selama pengomposan 60 hari semua reaktor rata-rata mengalami

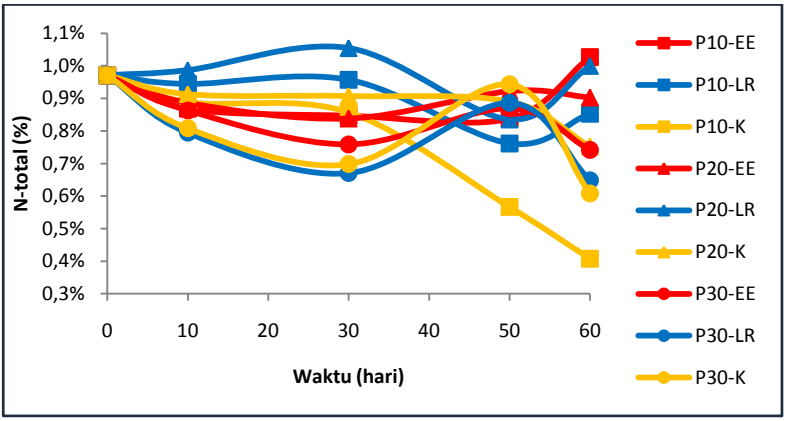
peningkatan konsentrasi nitrat. Namun pada hari ke-60 semua reaktor kontrol (P10-K, P20-K, P30-K) memiliki konsentrasi nitrat lebih kecil dibandingkan dengan reaktor vermikompos. Konsentrasi nitrat meningkat dikarenakan adanya aktivitas mikroorganisme yang mengubah N organik menjadi ammonia kemudian menjadi nitrat. Peningkatan konsentrasi nitrat merupakan indikasi bahwa cacing dan mikroorganisme berperan dalam mineralisasi nitrogen (Suthar dan Sharma, 2013). Peranan cacing dalam meningkatkan konsentrasi nitrat di dalam substrat dibuktikan dengan rata-rata peningkatan konsentrasi nitrat pada reaktor dengan penambahan cacing yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan peningkatan konsentrasi nitrat pada reaktor kontrol tanpa cacing. Hal ini dikarenakan adanya penggabungan dari lendir, material ekskresi, hormon pertumbuhan, dan enzim yang mengandung nitrogen yang berasal dari cacing (Suthar dan Sharma, 2013). Material tersebut mudah didegradasi oleh bakteri nitrifikasi menjadi nitrat sehingga peningkatan konsentrasi nitrat pada reaktor yang ditambahkan cacing lebih besar. Singh *et al.* (2011), juga mencatat peningkatan nitrat dengan metode vermikomposting lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposting konvensional.

Pada reaktor dengan jenis cacing *L. rubellus* menunjukkan peningkatan konsentrasi nitrat yang lebih tinggi jika dibandingkan reaktor dengan jenis cacing *E. eugeniae*. Peningkatan nitrat sampai hari ke-60 untuk jenis cacing *L. rubellus* sebesar 1,55% per hari, sedangkan *E. eugeniae* rata-rata dapat meningkatkan nitrat sebesar 1,43% per hari. Peningkatan nitrat juga terjadi pada penelitian Suthar dan Sharma (2013) peningkatan yang terjadi 5 kali lipat lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengomposan tanpa penambahan cacing.

Pra-komposting 10 hari menunjukkan peningkatan nitrat yang tertinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Selama pengomposan 60 hari, jumlah cacing yang mati pada reaktor dengan pra-komposting 10 hari lebih banyak daripada reaktor dengan pra-komposting 20 hari dan 30 hari sehingga dilakukan penambahan cacing kembali. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin banyak cacing yang ditambahkan, konsentrasi nitrat juga akan meningkat lebih besar. Adanya perbedaan konsentrasi nitrat antar reaktor dikarenakan adanya perbedaan produksi enzim hidrolitik yang sangat penting pada mineralisasi C dan N pada substrat (Suthar dan Gairola, 2014).

4.2.3 N-total

N-total didapatkan dengan menjumlahkan TKN dan N-nitrat, sehingga nilai N-total sangat dipengaruhi oleh TKN dan N-nitrat. N-total merupakan nitrogen dalam bentuk organik maupun anorganik. Senyawa organik berasal dari protein, asam amino, dan enzim. Senyawa anorganik disusun oleh ammonia, nitrat, dan nitrit. Hasil pengukuran N-total dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 N-total (%) Pengomposan 60 hari

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa tren hasil analisis N-total sama dengan analisis TKN yaitu semua reaktor rata-rata mengalami penurunan selama pengomposan 60 hari. Penurunan konsentrasi N-total ini disebabkan karena penurunan konsentrasi TKN lebih besar dibandingkan dengan peningkatan konsentrasi N-nitrat. TKN mengalami penurunan dari awal hingga akhir pengomposan, sedangkan N-nitrat mengalami kenaikan dari hari ke-30 hingga hari-60. Penurunan TKN disebabkan karena adanya konsumsi nitrogen oleh cacing yang diubah menjadi bentuk protein (Fernandez-Gomez *et al.,* 2010). Sedangkan peningkatan konsentrasi nitrat merupakan indikasi bahwa cacing dan mikroorganisme berperan dalam mineralisasi nitrogen (Suthar dan Sharma, 2013).

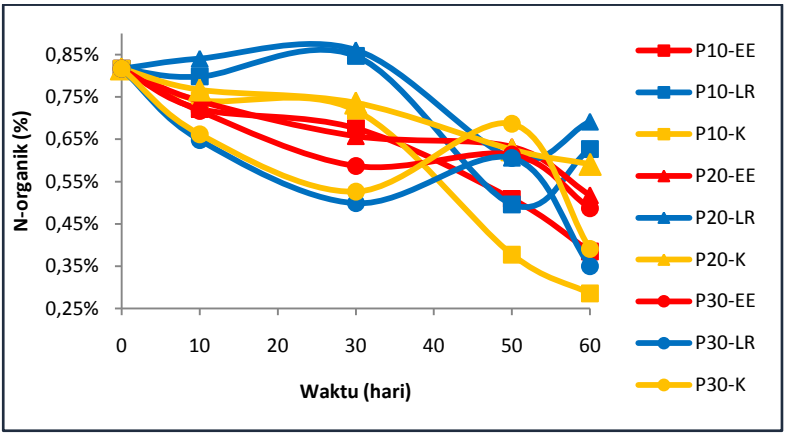
Jenis cacing *E. eugeniae* menunjukkan penurunan konsentrasi N-total yang lebih tinggi jika dibandingkan reaktor dengan penambahan cacing *L. rubellus*. Penurunan N-total sampai hari ke-60 untuk jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 1,15% per hari, sedangkan *L. rubellus* rata-rata dapat menurunkan N-total sebesar 1,03% per hari. Hal ini menunjukkan bahwa *L. rubellus* lebih baik dalam mempertahankan nitrogen dalam substrat jika dibandingkan dengan *E. eugeniae.*

Pra-komposting 30 hari memiliki penurunan N-total yang tertinggi. Rata-rata penurunan N-total pada pra-komposting 30 hari adalah 1,37% per hari. Jumlah cacing yang dapat bertahan hidup pada reaktor dengan pra-komposting 30 hari lebih banyak menyebabkan konsumsi nitrogen oleh cacing lebih besar dan diubahnya dalam bentuk anorganik sehingga menyebabkan penurunan N-total yang tinggi.

4.2.4 N-organik

N-organik didapatkan dari pengurangan TKN dengan nitrogen ammonia. N-organik merupakan nitrogen organik yang

dapat didegradasi langsung oleh mikroorganisme untuk kemudian diikat dalam sel mikroorganisme. Hasil analisis N-organik dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 N-organik (%) Pengomposan 60 hari

Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa tren hasil analisis N-organik sama dengan analisis N-total yaitu semua reaktor rata-rata mengalami penurunan selama pengomposan 60 hari. Penurunan N-organik dimungkinkan karena adanya konsumsi nitrogen oleh cacing yang diubah menjadi bentuk protein, ammonia, dan nitrat (Fernandez-Gomez *et al.,* 2010). Lim *et al*. (2012), menyebutkan bahwa kandungan lignin yang terdapat dalam sampah kebun menyebabkan cacing dan mikroorganisme lebih banyak mengonsumsi N-organik untuk pembentukan protein dan enzim untuk mengolah kandungan lignin.

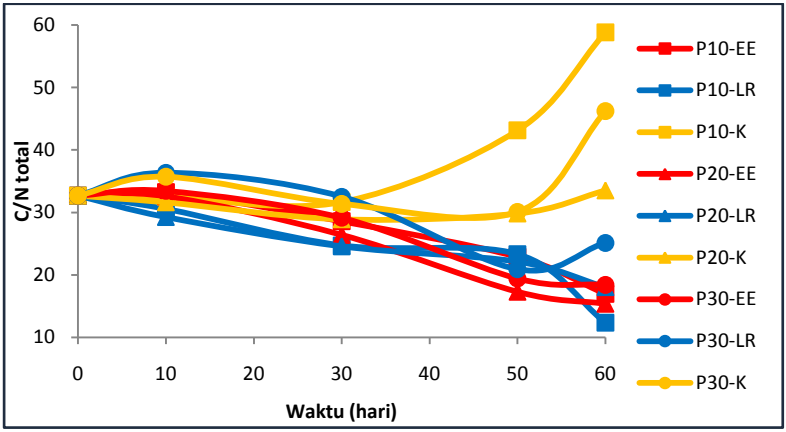
Jenis cacing *E. eugeniae* menunjukkan penurunan konsentrasi N-organik yang lebih tinggi jika dibandingkan reaktor dengan penambahan cacing *L. rubellus*. Penurunan N-organik sampai hari ke-60 untuk jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 1,79%

per hari, sedangkan *L. rubellus* rata-rata dapat menurunkan N-organik sebesar 1,28% per hari.

Pra-komposting 30 hari mengalami penurunan konsentrasi N-organik yang terbesar (1,81% per hari). Penurunan terbesar selanjutnya terjadi pada reaktor dengan pra-komposting 10 hari (1,54% per hari) kemudian yang terendah adalah pada reaktor dengan pra-komposting 20 hari (1,11% per hari). Hal ini dapat terjadi karena jumlah kematian cacing pada reaktor dengan pra-komposting 10 hari dan 20 hari lebih banyak sehingga menyebabkan penurunan N-organik yang rendah.

4.2.5 Rasio C/N total

C/N merupakan salah satu indikator kematangan dan kualitas agronomik kompos. Nilai C/N dibawah 20 menunjukkan bahwa kompos telah matang, sedangkan jika nilai C/N sama dengan atau lebih kecil dari 15, menunjukkan bahwa kompos memiliki nilai agronomik yang tinggi (Suthar, 2009). C/N pada penelitian ini dihitung berdasarkan C/N total. N total diperoleh dengan menambahkan TKN dan nitrat. Perubahan C/N total dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perubahan C/N total

Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada hari ke-30 semua reaktor rata-rata mengalami penurunan C/N dan pada hari ke-60 semua reaktor juga mengalami penurunan kecuali pada reaktor kontrol (P10-K, P20-K, P30-K) dan reaktor P30-LR. Pada reaktor kontrol mengalami peningkatan nilai C/N dikarenakan konsentrasi TKN dan N-nitrat pada reaktor ini mengalami penurunan. Sedangkan pada reaktor P30-LR mengalami peningkatan nilai C/N dikarenakan penurunan konsetrasi TKN pada reaktor ini lebih besar dibandingkan dengan peningkatan konsentrasi N-nitrat.

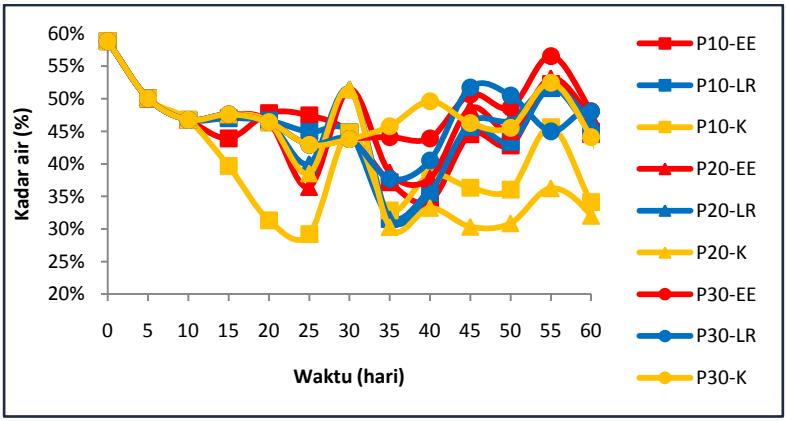
Pada reaktor dengan jenis cacing *E. eugeniae* menunjukkan penurunan C/N total yang lebih tinggi jika dibandingkan reaktor dengan jenis cacing *L. rubellus.* Penurunan C/N total rata-rata pada reaktor dengan jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 14,36%, sedangkan pada reaktor dengan jenis cacing *L. rubellus* rata-rata penurunan C/N total sebesar 12,34%. Penurunan nilai C/N disebabkan karena peningkatan konsentrasi nitrat dan penurunan C-organik pada masing-masing reaktor. Peranan cacing dalam menurunkan nilai C/N total di dalam substrat dibuktikan dengan rata-rata penurunan nilai C/N total pada reaktor dengan penambahan cacing yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan penurunan nilai C/N total pada reaktor kontrol tanpa cacing. Penelitian yang dilakukan oleh Suthar (2009) menggunakan cacing *E. eugeniae* dapat mereduksi rasio C/N dari 24,7 menjadi 12,5. Sedangkan penelitian Rahmatullah (2013) cacing *L. rubellus* dapat menjadikan nilai rasio C/N kompos sebesar 13,58.

Pra-komposting 10 hari menunjukkan penurunan C/N yang tertinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Rata-rata penurunan C/N pada pra-komposting 10 hari sebesar 17,07%, pra-komposting 20 hari dapat menurunkan C/N sebesar 14,98%, dan pra-komposting 30 hari dapat menurunkan sebesar 8%.

4.2.6 Kadar Air

Kadar air dalam proses pengomposan harus dijaga antara 40-60%. Kondisi kadar air di bawah 40% atau kering akan menyebabkan dekomposisi berjalan lambat bahkan akan terhenti, begitu juga sebaliknya jika kadar air di atas 60% atau terlalu basah maka akan terjadi proses anaerob karena kesulitan dalam aerasi dan akan menimbulkan bau (Reddy, 2011). Sedangkan cacing tanah masih mampu hidup pada media dengan kadar air hingga 80% (Lowe *et al.,* 2014).

Pengukuran kadar air pada tahap pra-komposting dan vermikomposting dianalisis secara periodik setiap 5 hari sekali. Kadar air berperan penting untuk menjamin proses dekomposisi secara biologis, menjamin pencampuran dan ketersediaan nutrien, melarutkan faktor-faktor penghambat pertumbuhan dan metabolisme, menstimulasi pertumbuhan bakteri dan menjaga temperatur agar tetap konstan (Diaz, 2007). Hasil analisis kadar air pengomposan hingga umur kompos 60 hari dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kadar Air (%) Pengomposan 60 hari

Berdasarkan hasil analisis kadar air pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pada kondisi awal yaitu hari ke-0 kadar air

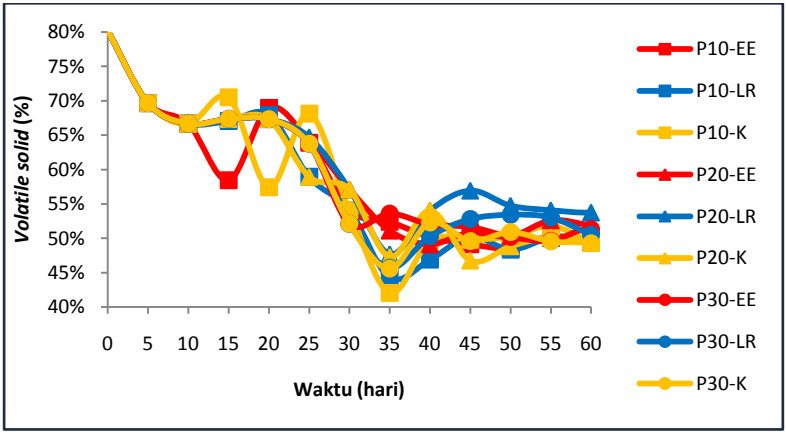
setiap reaktor dengan durasi pra-komposting 10 hari, 20 hari, dan 30 hari adalah 46,77%; 46,41%; dan 40,04%. Hasil analisis kadar air menunjukkan kenaikan dan penurunan. Penurunan kadar air menandakan adanya aktivitas mikroorganisme dan cacing selama pengomposan. Selama proses pengomposan menunjukkan bahwa pada reaktor yang ditambahkan cacing *E. eugeniae* mengalami penurunan kadar air yang lebih besar daripada reaktor yang ditambahkan dengan *L. rubellus*. Penurunan kadar air sampai hari ke-60 untuk jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 0,85% per hari, sedangkan *L. rubellus* rata-rata dapat menurunkan kadar air sebesar 0,79% per hari. Hasil ini sesuai dengan penelitian Anandharaj (2014), yang menyatakan bahwa cacing *E. eugeniae* memiliki kemampuan adaptasi yang buruk terhadap lingkungan baru, hal ini ditandai dengan tingginya aktivitas cacing pada media baru agar dapat mempertahankan hidupnya. Hal tersebut berakibat pada tingginya aktivitas respirasi cacing sehingga air yang dilepaskan ke udara juga meningkat. Sedangkan menurut Rodriguez-Campos *et al. (*2014), ukuran tubuh cacing *E. eugeniae* lebih besar daripada cacing *L. rubellus* sehingga air yang diserap cacing *E. eugeniae* lebih banyak. Air diserap oleh cacing melalui permukaan kulit untuk membasahi tubuhnya, kemudian sebagian digunakan untuk metabolisme cacing.

Pra-komposting 10 hari menunjukkan penurunan kadar air yang tertinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Rata-rata penurunan kadar air pada pra-komposting 10 hari sebesar 0,74% per hari. Sedangkan reaktor dengan pra-komposting 20 hari memiliki penurunan kadar air yang terendah. Penurunan kadar air pada substrat dipengaruhi oleh aktivitas makhluk hidup, yaitu saat respirasi (Fabianus, 2015). Respirasi makhluk hidup akan menghasilkan air yang kemudian akan dilepaskan ke udara dalam bentuk uap air. Hal ini menyebabkan berkurangnya air dalam substrat.

Gambar 4.1 disimpulkan bahwa kadar air selama proses pengomposan 60 hari melebihi batas minimum yaitu 40%, sehingga dilakukan penyemprotan air dan hal inilah yang menyebabkan kadar air mengalami kenaikan.

4.2.7 *Volatile Solid*

Kadar *volatile solid* merupakan besarnya jumlah materi organik yang ada. Analisis ini dilakukan dengan prosedur pembakaran (*combustion*) dimana materi organik dikonversi menjadi karbon dioksida dan air. Kehilangan berat melalui proses pembakaran diinterpretasikan sebagai materi organik (Sawyer, 2003). Pengukuran *volatile solid* pada tahap pra-komposting dan vermikomposting dianalisis secara periodik setiap 5 hari sekali. Hasil analisis *volatile solid* pengomposan hingga umur kompos 60 hari dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *Volatile Solid* (%) Pengomposan 60 hari

Berdasarkan hasil analisis *volatile solid* pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada hari ke-0 bahan pra-komposting durasi 10 hari, 20 hari, dan 30 hari masing-masing memiliki nilai *volatile*

solid sebesar 66,66%; 67,35%; dan 61,97%. Analisis *volatile solid* menunjukkan hasil cenderung menurun. Penurunan *volatile solid* dipengaruhi oleh jumlah mikroorganisme dan cacing yang melakukan metabolisme dalam substrat. Semakin kecil nilai *volatile solid* maka akan semakin mudah dan optimal proses pengomposan. Menurut Chennai (2003), salah satu indikasi proses dekomposisi *volatile solid* adalah panas tumpukan kompos karena pada saat proses dekomposisi akan menghasilkan gas CO_2, sehingga terdapat hubungan antara kandungan *volatile solid* dengan karbon kompos.

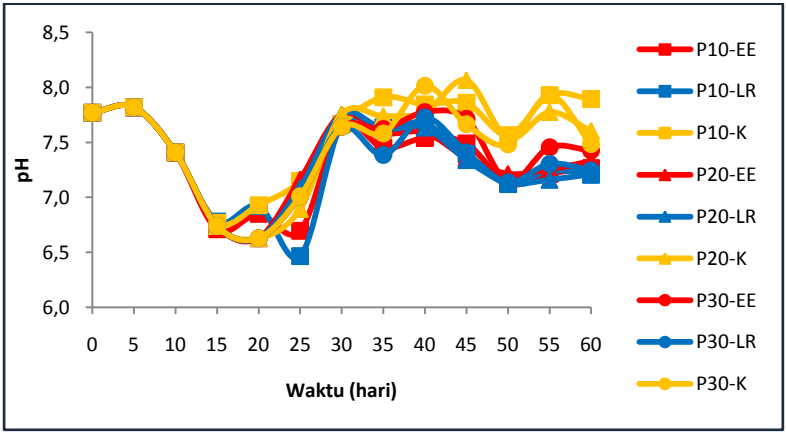
Selama proses pengomposan, jenis cacing *E. eugeniae* menunjukkan penurunan *volatile solid* yang lebih tinggi jika dibandingkan reaktor dengan penambahan cacing *L. rubellus*. Hal ini menunjukkan *E. eugeniae* lebih baik dalam mendekomposisi materi organik menjadi garam-garam mineral yang lebih sederhana jika dibandingkan *L. rubellus*. Penurunan *volatile solid* sampai hari ke-60 untuk jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 1,39% per hari, sedangkan *L. rubellus* rata-rata dapat menurunkan *volatile solid* sebesar 1,24% per hari.

Pra-komposting 10 hari menunjukkan penurunan *volatile solid* yang tertinggi. Rata-rata penurunan *volatile solid* pada pra-komposting 10 hari adalah 1,26% per hari. Penurunan *volatile solid* disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dekomposer dan cacing yang memecah materi organik menjadi garam-garam mineral yang lebih sederhana. Faktor yang mempengaruhi tingkat dekomposisi antara lain sistem pengomposan, lamanya proses, sistem aerasi, kualitas bahan kompos, ukuran partikel, dan profil temperatur (Diaz, 2007). Menurut Vargas (2005), pengomposan dengan cacing mampu mereduksi *volatile solid* sebesar 10% terhadap sampah kebun (daun dan ranting).

4.2.8 pH

Analisis pH pada tahap pra-komposting bertujuan untuk memastikan bahwa pengomposan berjalan optimum dan cacing dapat bertahan hidup saat proses vermikomposting. Mikroba kompos akan bekerja pada keadaan pH netral sampai sedikit masam, dengan kisaran pH antara 5,5 sampai 8 (Noor *et al.*, 2005). Sedangkan cacing tanah mampu hidup pada media dengan derajat keasaman 5-9 tetapi optimal pada rentang 7-8 (Anwar, 2009).

Pengukuran pH pada tahap pra-komposting dan vermikomposting dianalisis secara periodik setiap 5 hari sekali. Hasil analisis pH pra-komposting hingga umur kompos 60 hari dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 pH Pengomposan 60 hari

Berdasarkan hasil analisis pH pada Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa pada kondisi awal yaitu hari ke-0 pH bahan kompos pada pra-komposting 10 hari, 20 hari, dan 30 hari adalah 7,41; 6,63; dan 7,24. pH yang tinggi menandakan kandungan nitrogen belum stabil pada awal pengomposan (Xueling, 2006). Berdasarkan analisis, semua reaktor mengalami peningkatan dan

penurunan pH secara fluktuatif. Pada awal pengomposan nilai pH kompos cenderung turun. Hal ini menunjukaan adanya aktivitas mikroorganisme dan telah terbentuknya asam-asam organik yang merupakan asam-asam lemah. Kemudian pH akan naik akibat perubahan asam-asam organik menjadi CO_2 dan proses pembentukan amonia dari bahan yang mengandung nitrogen juga akan meningkatkan pH (Noor *et al.,* 2005).

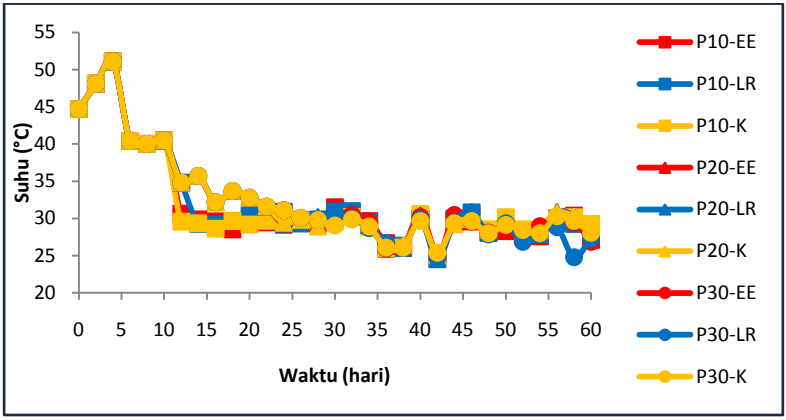
Pada hari ke-60, pH tertinggi pada masing-masing reaktor dengan pra-komposting 10 hari, 20 hari, dan 30 hari terdapat pada reaktor kontrol (P10-K, P20-K, P30-K) yaitu reaktor tanpa cacing. Hal ini menunjukkan bahwa adanya cacing dapat menurunkan pH kompos yang menunjukkan bahwa kualitas kompos lebih baik jika dibandingkan pengomposan tanpa cacing. Dan sesuai dengan penelitian Rahmawati (2015), semakin banyak sampah yang terdegradasi maka semakin rendah pH kompos. Penambahan cacing pada proses pengomposan akan menyebabkan produksi kompos yang lebih banyak dan menunjukkan penurunan pH pada kompos yang dihasilkan.

4.2.9 Suhu

Perubahan temperatur dalam proses pengomposan merupakan indikator apakah proses penguraian bahan organik berjalan dengan baik atau tidak. Pada hari ketiga temperatur akan naik pada fase termofilik. Kisaran temperatur tersebut merupakan yang terbaik bagi pertumbuhan mikroorganisme termofilik (Djuarnani *et al.*, 2005). Suhu yang sesuai untuk kedua jenis cacing tersebut adalah rentang 21°C-29°C, namun optimum pada suhu 25°C (Singh *et al.,* 2011). Analisis suhu tahap pra-komposting dan vermikomposting dilakukan secara periodik setiap 2 hari sekali. Hasil analisis suhu dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Berdasarkan hasil analisis suhu pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa suhu mengalami peningkatan dan

penurunan secara fluktuatif. Selama umur kompos mencapai 60 hari, suhu paling tinggi terjadi pada hari ke-4 yaitu sebesar 51,1°C. Suhu mencapai fase termofilik (45-60°C) karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik dengan oksigen sehingga menghasilkan energi dalam bentuk panas, CO_2 dan uap air. Jumlah mikroorganisme pathogen yang ada akan berkurang dan tidak aktif apabila suhu melebihi 57°C, oleh sebab itu suhu diatas 60°C mikroba tidak aktif dan kecepatan penguraian berkurang (Yenie, 2008).



Gambar 4.11 Suhu (°C) Pengomposan 60 hari

Selanjutnya suhu reaktor menjadi stabil setelah pengomposan 40 hari. Suhu tidak berubah secara drastis karena energi panas yang dihasilkan mikroorganisme dan cacing terlalu kecil sehingga tidak berpengaruh pada substrat kompos. Kondisi ini menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme dan cacing stabil akibat semakin berkurangnya senyawa organik yang harus didegradasi. Pada akhir pengomposan yaitu saat kompos berumur 60 hari, suhu akhir kompos mencapai 26,5°C-29,5°C. Suhu terendah terjadi pada reaktor P30-EE yaitu sebesar 26,85°C.

Penelitian yang dilakukan Indrajati *et al.* (2012), menunjukkan hasil bahwa suhu akhir pengomposan menggunakan cacing *L. rubellus* dengan durasi pengomposan 30 hari sebesar 28°C. Sedangkan pada penelitian Anandharaj (2014), suhu akhir pengomposan 28°C menggunakan cacing *E. eugeniae* dicapai dengan durasi pengomposan 75 hari.

4.2.10 Berat Total Material

Berat total material merupakan hasil pengukuran berat material yang akan dikomposkan yang terdiri dari berat reaktor, berat substrat yang akan dikomposkan dan berat cacing. Tujuan dilakukan pengukuran berat total material adalah untuk menentukan seberapa besar susbtrat yang hilang selama proses pengomposan. Substrat yang hilang dianggap telah mengalami proses degradasi. Hasil pengukuran berat total material pada Tabel 4.9.

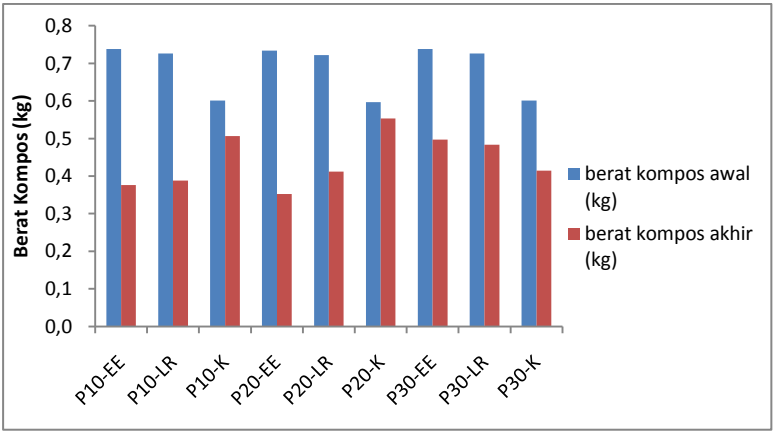
Tabel 4.9 Berat Total Reaktor Vermikomposting

No	Reaktor	Berat reaktor kosong (kg)	Berat substrat (kg)	Berat cacing (kg)	Berat total (kg)
1	P10-EE	0,340	1,090	0,137	1,682
2	P10-LR	0,347	1,090	0,125	1,677
3	P10-K	0,347	1,090	0,000	1,552
4	P20-EE	0,337	1,230	0,137	1,704
5	P20-LR	0,340	1,230	0,125	1,695
6	P20-K	0,333	1,230	0,000	1,563
7	P30-EE	0,336	1,070	0,137	1,694
8	P30-LR	0,347	1,070	0,125	1,693
9	P30-K	0,346	1,070	0,000	1,567

Pada awal pengomposan, reaktor diberi alas menggunakan kasa dengan tujuan agar lindi dan substrat tidak bercampur, namun setelah 1 hari banyak cacing yang mati karena menembus kasa. Sehingga diputuskan untuk tidak menggunakan kasa sebagai alas reaktor karena substrat dalam reaktor tidak menghasilkan lindi.

4.3 Reduksi Substrat (Bahan Baku Kompos)

Reduksi substrat didapatkan dari selisih massa kompos awal dan massa kompos akhir selama proses vermikomposting. Selisih massa kompos tersebut menunjukkan berat kompos yang hilang berupa uap air dan dipengaruhi oleh penurunan senyawa organik lainnya termasuk parameter yang ada. Substrat yang dimaksud adalah terdiri dari kompos ditambah dengan jasad cacing yang mati di dalam reaktor. Hasil analisis reduksi substrat dapat dilihat pada Gambar 4.12.

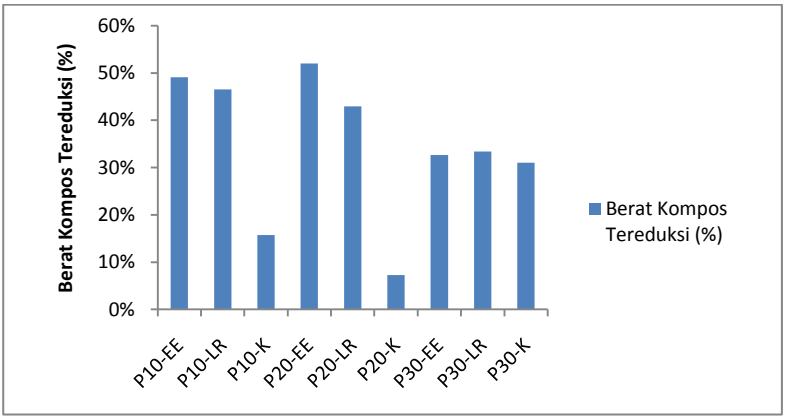


Gambar 4.12 Perubahan Berat Kompos (kg)

Setiap jenis cacing memiliki kemampuan mendegradasi material organik yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan adanya

perbedaan karakteristik makanan yang dapat dikonsumsi oleh cacing. Menurut Fadilah *et al.* (2017), pada proses degradasi yang dilakukan oleh cacing tanah memiliki beberapa tahapan yang menyebabkan proses degradasi berjalan lebih cepat dan menghasilkan produk akhir yang lebih baik. Tahap pertama dalam proses degradasi adalah tahap cacing tanah melakukan degradasi fisik dimana bahan organik dari ukuran yang lebih besar menjadi ukuran yang lebih kecil. Selanjutnya di dalam tubuh cacing terjadi penambahan enzim pencernaan dan terdapat mikroorganisme tertentu yang bertindak sebagai agen pendekomposisi. Pada tahap terakhir adalah terjadinya ekskresi. Eksresi dikeluarkan oleh cacing adalah hasil dari pendegradasian bahan organik termasuk parameter yang ada.

Dari hasil analisis tersebut kemudian dapat diketahui persentase reduksi substrat dalam proses pengomposan. Persentase reduksi diperoleh dengan membandingkan selisih substrat atau besarnya substrat yang hilang terhadap jumlah total substrat awal. Persentase reduksi dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Persentase Reduksi Substrat (%)

Berdasarkan hasil pada Gambar 4.13 jenis cacing *E. eugeniae* menunjukkan persentase reduksi lebih tinggi dibandingkan cacing *L. rubellus*. Rata-rata persentase reduksi untuk jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 44,56%, sedangkan persentase reduksi cacing *L. rubellus* sebesar 40,94%. Hal ini disebabkan karena jumlah cacing *E. eugeniae* yang digunakan saat pengomposan lebih banyak jika dibandingkan dengan cacing *L. rubellus.* Substrat yang tereduksi dicerna oleh cacing untuk melakukan aktivitas metabolisme dan sebagian dilepaskan ke udara.

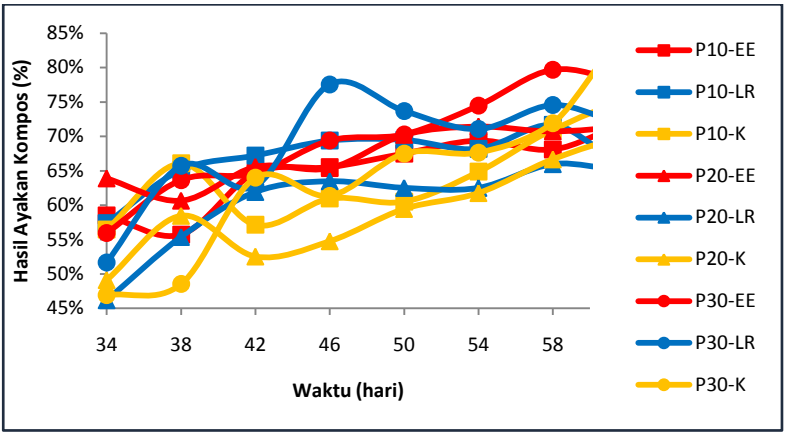
Persentase reduksi terbesar untuk pra-komposting 10 hari rata-rata sebesar 37,11%. Persentase reduksi terbesar selanjutnya terjadi pada reaktor dengan pra-komposting 20 hari sebesar 34,05% kemudian yang terendah adalah pada reaktor dengan pra-komposting 30 hari sebesar 32,35%. Dari hasil tersebut dapat diketahui kemampuan degradasi sampah kebun dan lumpur biologis dengan pengolahan vermikomposting rata-rata sebesar 32,63% - 51,97%.

4.4 Produksi Kompos

Produksi kompos diukur berdasarkan hasil ayakan. Substrat yang lolos dari ayakan disebut dengan kompos. Analisis ayakan dilakukan setiap 4 hari sekali selama proses vermikomposting. Kompos terbentuk akibat adanya degradasi yang dilakukan cacing dan mikroorganisme. Produksi kompos selama proses vermikomposting dipengaruhi oleh durasi pra-komposting dan jumlah cacing hidup yang terdapat pada reaktor. Hasil analisis produksi kompos dapat dilihat pada Gambar 4.14.

Pada Gambar 4.14 jenis cacing *E. eugeniae* menunjukkan peningkatan produksi kompos lebih tinggi dibandingkan cacing *L. rubellus*. Rata-rata produksi kompos

untuk jenis cacing *E. eugeniae* sebesar 68,93%, sedangkan persentase reduksi cacing *L. rubellus* sebesar 67,42%.



Gambar 4.14 Produksi Kompos (%)

Pra-komposting 30 hari menunjukkan produksi kompos yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pra-komposting 10 hari dan pra-komposting 20 hari. Pra-komposting 30 hari memiliki rata-rata produksi kompos 69,24%, pra-komposting 10 hari 67,08%, dan pra-komposting 20 hari 64,23%. Tujuan dari pra-komposting yaitu untuk menyiapkan material organik agar lebih mudah dimanfaatkan oleh cacing sehingga mempercepat periode vermikomposting (Ismail *et al*., 2006). Menurut Widarti *et al*. (2015), ukuran partikel merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi cepat tidaknya pematangan pada kompos. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin cepat kompos matang. Permukaan area yang lebih luas akan meningkatkan kontak antara mikroba dengan bahan dan proses dekomposisi akan berjalan lebih cepat.

4.5 Kematangan Kompos

Kompos memiliki standar yang berlaku di Indonesia. Standar yang mengatur tentang kualitas kompos terdapat SNI 19-7030-2004. Kematangan kompos ditandai dengan ciri-ciri sebagai berikut:

1. Nilai rasio C/N antara 10-20
2. Suhu sesuai dengan suhu air tanah
3. Berwarna kehitaman dan tekstur seperti tanah
4. Berbau tanah

Perbandingan antara hasil akhir selama pengomposan 60 hari untuk masing-masing jenis cacing dengan standar kualitas kompos terdapat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Analisis Kematangan Kompos

Parameter	Satuan	SNI 19-7030-2004		*E. eugeniae*	*L. rubellus*
		Minimum	Maksimum		
Kadar Air	%		50	46,63	46,56
pH		6,8	7,49	7,34	7,22
Volatile Solid	%	27	58	50,88	51,30
Nitrogen	%	0,4		0,89	0,83
Karbon	%	9,8	32	17,93	18,95
Rasio C/N		10	20	16,91	18,50

Dari tabel dapat dilihat bahwa hasil akhir kompos untuk kedua jenis cacing memenuhi standar kematangan kompos. Namun rasio C/N untuk cacing *E. eugeniae* lebih rendah jika dibandingkan dengan cacing *L. rubellus.* Hal ini dikarenakan cacing *E. eugeniae* dapat mengkonsumsi 90% bahan organik dan mengubahnya menjadi kascing (kotoran) lebih cepat daripada cacing *L. rubellus* (Nagavallemma *et al.,* 2004). Menurut Dominguez *et al.* (2001), *E. eugeniae* dapat meningkatkan total biomassa jauh lebih cepat daripada spesies cacing yang lain, serta mengalami kenaikan berat maksimum 280 mg setiap

minggu, sedangkan cacing *L. rubellus* sebesar 55 - 60 mg setiap minggu.

4.6 Analisis *Mass Balance*

Analisis *mass balance* atau kesetimbangan massa pada penelitian ini dihitung untuk parameter dan massa kompos. *Mass balance* parameter dihitung untuk mengetahui penurunan senyawa organik dalam hal ini parameter yang ada pada substrat yang menjadi produk pengomposan. Sedangkan *mass balance* massa kompos dihitung untuk mengetahui perubahan massa pada kompos menjadi produk dalam bentuk yang lain.

4.6.1 *Mass Balance* Parameter

Kesetimbangan massa dihitung berdasarkan perkalian konsentrasi parameter dengan berat kering kompos. Hasil yang didapat dari penentuan *mass balance* adalah input dan output pada masing-masing proses pra-komposting dan vemikomposting serta reduksi parameter sebagai hasil konsumsi cacing dan mikroorganisme. Hasil analisis *mass balance* dapat dilihat pada Lampiran D halaman 123. Input proses pra-komposting menunjukkan karakteristik awal substrat. Output pra-komposting merupakan hasil akhir dari proses pra-komposting pada masing-masing durasi yaitu 10 hari, 20 hari, 30 hari dan juga dijadikan sebagai input untuk proses vermikomposting. Output vermikomposting menunjukkan hasil akhir dari proses pengomposan menggunakan cacing.

Pada reduksi hasil proses vermikomposting dapat diketahui kemampuan antara cacing dan mikroorganisme dalam mendegradasi sampah kebun dan lumpur biologis. Kemampuan cacing dalam mendegradasi sampah kebun dan lumpur biologis dapat diketahui dari pengurangan pada reaktor dengan penambahan cacing dan reaktor kontrol tanpa penambahan

cacing dengan durasi pra-komposting yang sama (contoh: P10EE-P10K), sedangkan kemampuan mikroorganisme sama dengan reduksi pada reaktor kontrol. Berikut ini merupakan contoh perhitungan kemampuan cacing dan mikroorganisme dalam mendegradasi sampah kebun dan lumpur biologis pada durasi pra-komposting 10 hari.

Pengaruh penambahan cacing *E. eugeniae* (A):

A = % reduksi C-organik reaktor P10EE - % reduksi C-organik reaktor P10K

= 60,88% - 23,92%

= 36,96%

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diketahui bahwa pada reaktor dengan penambahan cacing *E. eugeniae* dan durasi pra-komposting 10 hari dapat mereduksi C-organik hingga 36,96%, sedangkan mikroorganisme hanya bisa mereduksi C-organik sebesar 23,92%. Hasil perhitungan kemampuan cacing dan mikroorganisme terhadap reduksi masing-masing parameter selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Pengaruh Cacing dan Mikroorganisme Terhadap Reduksi Parameter

Reaktor	Parameter	Reduksi Parameter (%)	Pengaruh Cacing (%)	Pengaruh Mikroorganisme (%)
P10-EE	C-organik	61	37	24
	TKN	65	-20	85
	N-ammonia	80	30	51
	N-nitrat	-828	-767	-60
	Kadar Air	38	10	28
	Volatile Solid	49	21	28

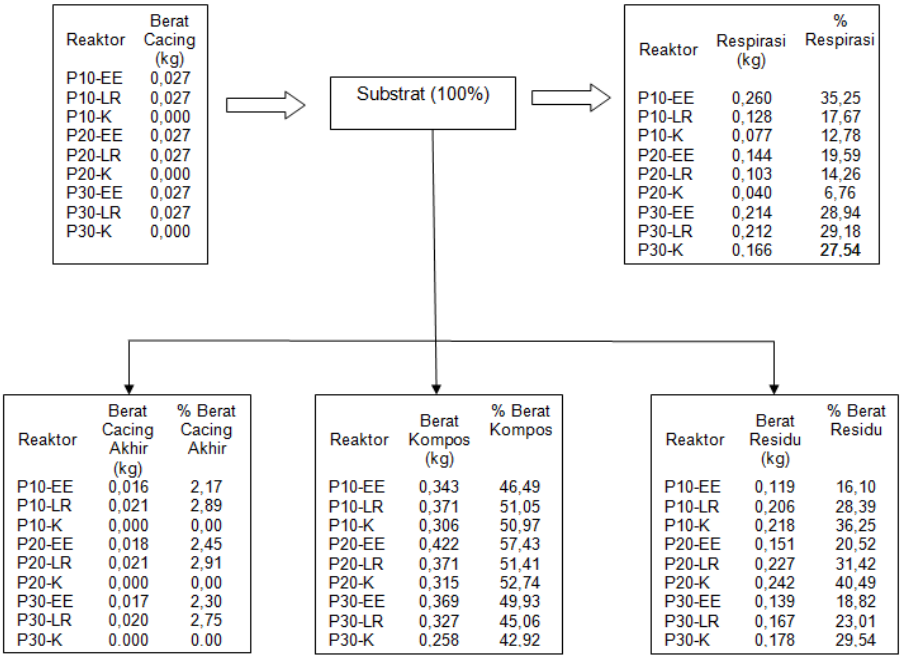
Reaktor	Parameter	Reduksi Parameter (%)	Pengaruh Cacing (%)	Pengaruh Mikroorganisme (%)
P10-LR	C-organik	59	35	24
	TKN	58	-28	85
	N-ammonia	85	34	51
	N-nitrat	-1179	-1119	-60
	Kadar Air	36	8	28
	Volatile Solid	48	19	28
P20-EE	C-organik	54	38	16
	TKN	54	28	26
	N-ammonia	84	20	65
	N-nitrat	-964	-950	-14
	Kadar Air	37	9	27
	Volatile Solid	50	24	26
P20-LR	C-organik	49	33	16
	TKN	56	30	26
	N-ammonia	84	19	65
	N-nitrat	-525	-511	-14
	Kadar Air	31	4	27
	Volatile Solid	44	18	26
P30-EE	C-organik	44	21	23
	TKN	34	4	30
	N-ammonia	65	36	29
	N-nitrat	-152	-499	347
	Kadar Air	11	-4	15
	Volatile Solid	32	-1	34
P30-LR	C-organik	39	16	23
	TKN	34	4	30
	N-ammonia	55	26	29
	N-nitrat	-139	-486	347
	Kadar Air	11	-4	15
	Volatile Solid	33	-1	34

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa parameter nitrat menunjukkan hasil minus. Hal ini dikarenakan konsentrasi nitrat mengalami peningkatan. Selama pengomposan, C-organik mengalami penurunan akibat aktivitas mikroorganisme dan cacing yang mengubah menjadi gas CO_2. Total nitrogen meningkat seiring dengan menurunnya C-organik (Loh *et al.,* 2005). Peningkatan N-total merupakan akibat penguraian protein menjadi asam amino yang kemudian asam amino mengalami amonifikasi menjadi ammonium yang selanjutnya dioksidasi menjadi nitrat. Cacing dapat meningkatkan nitrogen melalui kascing (kotoran), produksi lendir, dan dekomposisi jaringan mati (Nagavallemma *et al.,* 2004). Bakteri pengikat nitrogen dapat terakumulasi dalam kotoran cacing (Rodriguez-Campos *et al.,* 2014). Sedangkan hasil minus pada pengaruh penambahan cacing menunjukkan hasil minus dikarenakan adanya cacing yang mati. Sehingga untuk penelitian selanjutnya diperlukan pengkondisian cacing agar tidak terjadi kematian yang cukup banyak.

4.6.2 *Mass Balance* Massa Kompos

Kesetimbangan massa dihitung berdasarkan berat kering substrat, dalam hal ini dipengaruhi oleh berat kering kompos, berat kering cacing, berat kering residu, dan berat yang terbuang (*loss weight*) akibat respirasi. Hasil yang didapat dari penentuan *mass balance* adalah biomassa cacing, massa kompos, massa residu, dan massa substrat yang hilang sebagai hasil respirasi. Hasil analisis *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 4.15. Berat akhir cacing menunjukkan berat kering cacing yang masih tersisa hingga akhir pengomposan. Berat kompos merupakan berat total kompos yang dihasilkan selama pengomposan sebagai hasil ekskresi cacing dan mikroorganisme. Berat residu menunjukkan berat substrat yang tersisa dan tidak menjadi kompos. Berat respirasi menunjukkan berat yang hilang (*loss*

weight) selama pengomposan terjadi. Berat yang hilang dipengaruhi oleh CO_2, H_2O, dan energi.



Reaktor	Berat Cacing (kg)
P10-EE	0,027
P10-LR	0,027
P10-K	0,000
P20-EE	0,027
P20-LR	0,027
P20-K	0,000
P30-EE	0,027
P30-LR	0,027
P30-K	0,000

Reaktor	Respirasi (kg)	% Respirasi
P10-EE	0,260	35,25
P10-LR	0,128	17,67
P10-K	0,077	12,78
P20-EE	0,144	19,59
P20-LR	0,103	14,26
P20-K	0,040	6,76
P30-EE	0,214	28,94
P30-LR	0,212	29,18
P30-K	0,166	27,54

Reaktor	Berat Cacing Akhir (kg)	% Berat Cacing Akhir
P10-EE	0,016	2,17
P10-LR	0,021	2,89
P10-K	0,000	0,00
P20-EE	0,018	2,45
P20-LR	0,021	2,91
P20-K	0,000	0,00
P30-EE	0,017	2,30
P30-LR	0,020	2,75
P30-K	0.000	0.00

Reaktor	Berat Kompos (kg)	% Berat Kompos
P10-EE	0,343	46,49
P10-LR	0,371	51,05
P10-K	0,306	50,97
P20-EE	0,422	57,43
P20-LR	0,371	51,41
P20-K	0,315	52,74
P30-EE	0,369	49,93
P30-LR	0,327	45,06
P30-K	0,258	42,92

Reaktor	Berat Residu (kg)	% Berat Residu
P10-EE	0,119	16,10
P10-LR	0,206	28,39
P10-K	0,218	36,25
P20-EE	0,151	20,52
P20-LR	0,227	31,42
P20-K	0,242	40,49
P30-EE	0,139	18,82
P30-LR	0,167	23,01
P30-K	0,178	29,54

Gambar 4.15 *Mass Balance*

Dari hasil *mass balance* dapat dilihat bahwa berat kering cacing *Lumbricus rubellus* yang masih tersisa hingga akhir pengomposan lebih besar daripada cacing *Eudrilus eugeniae*, hal ini dikarenakan cacing *E. eugeniae* memiliki kemampuan adaptasi yang buruk terhadap lingkungan baru dan ditandai dengan tingginya aktivitas cacing pada media baru agar dapat mempertahankan hidupnya. Hal tersebut berakibat pada tingginya aktivitas respirasi cacing sehingga air yang dilepaskan ke udara juga meningkat (Anandharaj, 2014). Berat kompos pada reaktor dengan pra-komposting 20 hari lebih besar dibandingkan

dengan yan lain dikarenakan berat kering cacing yang tersisa pada reaktor dengan pra-komposting 20 hari juga lebih besar dibandingkan dengan yang lain. Produksi kompos sendiri dipengaruhi oleh jumlah cacing hidup yang terdapat pada reaktor. Sedangkan berat residu pada reaktor kontrol lebih besar dibandingkan reaktor dengan penambahan cacing, hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan cacing dapat mempercepat proses degradasi sampah kebun dan lumpur biologis.

4.7 Analisis Statistik

Analisis statistik diperlukan untuk mengetahui pengaruh setiap variasi terhadap parameter. Pada penelitian ini menggunakan *Anova two way* untuk mengetahui pengaruh variasi jenis cacing, durasi pra-komposting, serta apabila durasi pra-komposting dan jenis cacing dilakukan bersamaan. Analisis ini menggunakan program SPSS. Hasil running menunjukkan bahwa ada pengaruh dari variasi pra-komposting terhadap parameter produksi kompos, C-organik, N-nitrat, *volatile solid* yang ditunjukkan dengan nilai signifikan kurang dari 0,05. Nilai signifikan lebih dari 0,05 menunjukkan bahwa kedua variasi tersebut tidak berpengaruh terhadap parameter. Hal ini terjadi pada parameter N-ammonia, TKN, N-total, N-organik, kadar air, dan rasio C/N total. Hasil analisis anova pada pengaruh durasi pra-komposting dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Analisis Pengaruh Durasi Pra-komposting terhadap Parameter

Parameter	F	Sig.
Produksi Kompos	4,539	0,034
C organik	6,445	0,004
N-ammonia	0,195	0,826
N-nitrat	4,058	0,045
TKN	1,746	0,216
N total	2,680	0,109
N organik	1,736	0,218

Parameter	F	Sig.
Kadar Air	0,350	0,711
Volatile Solid	10,838	0,002
C/N total	0,661	0,534

Hasil analisis anova pada variasi jenis cacing menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap parameter. Hal ini menunjukkan bahwa jenis cacing *Eudrilus eugeniae* dan cacing *Lumbricus rubellus* sama-sama baik dalam mendegradasi sampah kebun dan lumpur biologis unit SDB. Pada perhitungan dinyatakan ada perbedaan antara kedua jenis cacing namun perbedaan ini hanya sedikit sehingga nilai signifikasinya lebih dari 0,05. Nilai signifikasi pada analisis anova dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Analisis Pengaruh Jenis Cacing terhadap Parameter

Parameter	F	Sig.
Produksi Kompos	0,752	0,403
C organik	1,928	0,172
N-ammonia	0,015	0,905
N-nitrat	0,584	0,459
TKN	0,953	0,348
N total	0,160	0,696
N organik	0,967	0,345
Kadar Air	0,011	0,917
Volatile Solid	3,071	0,105
C/N total	0,145	0,710

Hasil analisis anova pada kombinasi antara durasi pra-komposting dan jenis cacing menunjukkan adanya pengaruh terhadap parameter C-organik dan tidak berpengaruh terhadap parameter produksi kompos, N-ammonia, N-nitrat, TKN, N-total, N-organik, kadar air, volatile solid, dan rasio C/N total. Hal ini dimungkinkan adanya sejumlah cacing yang mati yang menyebabkan peningkatan dan penurunan konsentrasi TKN, N-

ammonia, N-nitrat, N-total, dan N-organik yang tidak terkontrol. Hasil analisis anova pada pengaruh kombinasi antara durasi pra-komposting dan jenis cacing dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Analisis Pengaruh Kombinasi Durasi Pra-komposting dengan Jenis Cacing terhadap Parameter

Parameter	F	Sig.
Produksi Kompos	1,337	0,299
C organik	5,109	0,010
N-ammonia	0,240	0,791
N-nitrat	2,842	0,098
TKN	0,961	0,410
N total	0,760	0,489
N organik	1,290	0,311
Kadar Air	0,003	0,997
Volatile Solid	0,787	0,477
C/N total	0,520	0,607

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Pengomposan sampah kebun dan lumpur biologis unit SDB dengan menggunakan *Eudrilus eugeniae* dapat mereduksi berat kering kompos sebesar 32,63%-51,97% dan mereduksi *volatile solid* sebesar 57,48%-68,69%. *Lumbricus rubellus* dapat mereduksi berat kering kompos sebesar 33,37%-46,50% dan mereduksi *volatile solid* sebesar 55,75%-66,88%.
2. Berdasarkan analisis statistik durasi pra-komposting berpengaruh terhadap parameter produksi kompos, C-organik, N-nitrat, dan *volatile solid*. Dari parameter tersebut, durasi pra-komposting 10 hari menunjukkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan durasi pra-komposting 20 hari dan 30 hari.
3. Berdasarkan analisis statistik cacing *Eudrilus eugeniae* dan cacing *Lumbricus rubellus* tidak berpengaruh terhadap parameter penelitian. Cacing *Eudrilus eugeniae* dapat menghasilkan kualitas kompos yang lebih baik jika dibandingkan dengan cacing *Lumbricus rubellus*. Cacing *Eudrilus eugeniae* dapat mereduksi C-organik 6,2%, *volatile solid* 10,8%, rasio C/N total 14,1% lebih tinggi jika dibandingkan dengan cacing *Lumbricus rubellus.*

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan perbandingan komposisi sampah kebun dan lumpur

biologis yang terbaik dengan pengolahan vermikomposting.

2. Kontrol terhadap umur cacing yang digunakan perlu dilakukan. Cacing pada usia produktif (2,5 bulan-3 bulan) adalah yang baik digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Anandharaj, M. 2014. A study on life cycle of earthworm Eudrilus eugeniae.

Anggraeni, K. 2015. Pengaruh cacing tanah *E. eugeniae* dan *E. foetida* dalam mendegradasi sampah sayur. Laporan Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Anwar, E. K. 2009. Efektivitas cacing tanah *Pheretima hupiensis, Edrellus* sp. dan *Lumbricus* sp. dalam proses dekomposisi bahan organik. *Jurnal Tanah Tropika*. Vol. 14 (2), hal. 149-158.

Badan Standadisasi Nasional. *Standar Nasional Indonesia 3242:2008 tentang Pengelolaan Sampah di Permukiman.*

Budiharjo, M. A. 2006. Studi potensi pengomposan sampah kota sebagai salah satu alternatif pengelolaan sampah di TPA dengan menggunakan aktivator EM4 (*Effective Microorganism*). *Jurnal Presipitasi*. Vol. 1 (1), hal. 25-30.

Chennai. 2003. Pilot Scale Study on Pretreatment Solid Waste Prior to Landfilling. Asian Institute of Technology: Environmental Engineering and Management.

Damanhuri, E., Padmi, T. 2010. Pengelolaan sampah. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Dewi, Y. S., Masithoh, M. 2013. Efektivitas Teknik Biofiltrasi dengan Media *Bio-ball* Terhadap Penurunan Kadar Nitrogen Total. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik LIMIT'S*. Vol. 9, No. 1.

Djuarnani, N., Kristian, Setiawan, B. S. 2005. Cara cepat membuat kompos. AgroMedia Pustaka, Jakarta.

Dominguez, J., Edwards, C. A., Ashby, J. 2001. The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Oligochaeta) in cattle waste solids. *Pedobiologia*. Vol. 45, pp. 341-353.

Elvi, Y. 2011. Pembuatan Kompos Dari Sampah Sayuran: Parameter Suhu dan Waktu Pembalikan. Prosiding SNTK TOPI 2011. Universitas Riau, Pekanbaru.

Fabianus. 2015. Kualitas vermikompos limbah *sludge* industri kecap dan seresah daun lamtoro (*Leucaena leucocephala*) dengan variasi cacing tanah *L. rubellus* hoffmeister dan *E. foetida* savigny. Universitas Atmajaya, Yogyakarta.

Fadilah, U., Joko, W., Wahju, S. 2017. Efektivitas Cacing Tanah (*Lumbricus rubellus* Hoff.) dalam Degradasi Karbon Organik Sampah Sayur Pasar Tanjung Jember. Universitas Jember, Jember.

Fernandez-Gomez, M. J., Nogales, R., Insam, H., Romero, E., Goberna, M. 2010. Continuous-feeding Vermicomposting as a Recycling Management Method to Revalue Tomato-fruit Wastes from Greenhouse Crops. *Waste Management*. 30 (12): 2461-8.

Fitrianti, P. 2015. Sludge treatment. Produksi Bersih.

Frederickson, J., Howell, G., Hobson, A. M. 2007. Effect of pre-composting and vermicomposting on compost characteristics. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 43, pp. S320-S326.

Gajalakshmi, S., Abbasi, S. A. 2004. Earthworms and vermicomposting. *Indian Journal of Biotechnology*. Vol. 3, pp. 486-494.

Hemalatha, B. 2012. Vermicomposting of fruit waste and industrial sludge. *International Journal of Advanced Engineering Technology*. Vol. 3, Issue II, pp. 60-63.

Himanem, M. 2010. Composting of Bio-waste, Aerobic and Anaerobic Sludge – Effect of Feedstock on the Process and Quality of Compost. Science Direct.

Huang, K., Li, F., Wei, Y., Chen, X., Fu, X. 2013. Changes of Bacterial and Fungal Community Compositions During Vermicomposting of Vegetable Wastes by Eisenia foetida. *Bioresour Technology*.150: 235-41

Ikbal, Nugroho, R. 2006. Pengolahan sludge dengan proses biologi anaerobik. *Jurnal Teknik Lingkungan P3TL-BPPT*. Vol. 7 (1), pp. 80-89.

Indrajati, C. D., Sutrisno, E., Sumiyati, S. 2012. Vermikompos dari Bahan Limbah Organik Sayur (Studi Kasus: Pasar Jati, Banyumanik, Semarang). Universitas Diponegoro, Semarang.

Instalasi Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian (IPPTP). 2001. Vermikompos (kompos cacing tanah) pupuk organik berkualitas dan ramah lingkungan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Mataram.

Ismail, W. H. W., Khafiruddin, Akbar, M. S., Nordin. 2006. The potential of selected bedding materials for vermicomposting with red wiggler worms-*Eisenia fetida*. Department of Agriculture, Kuala Lumpur.

Kaviraj, Sharma, S. 2003. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresource Technology*. Vol. 90 (2), pp. 169-173.

Khoirunnisa, F. 2016. Kombinasi proses pra-komposting dan vermikomposting menggunakan *Eudrilus eugeniae* dan *Lumbricus rubellus* untuk pengomposan sampah kebun dan sampah sayur. Laporan Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Kulkarni, S. J. 2017. Vermicomposting – a boon for waste minimization and soil quality. *International Journal of Research and Review*. Vol. 4, Issue 2.

Kusuma, M. A. 2012. Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Laju Dekomposisi Kompos Sampah Organik di Kota Depok. Tesis. Universitas Indonesia, Depok.

Lestari, D. R., Yudihanto, G. 2013. Pengolahan lumpur tinja pada sludge drying bed IPLT Keputih menjadi bahan bakar alternatif dengan metode *biodrying*. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 2 (2), hal. D133-D137.

Lim, S. L, Wu, T. Y., Sim, E. Y. S., Lim, P. N., Clarke, C. 2012. Biotransformation of Rice Husk Into Organic Fertilizer Through Vermicomposting . *Ecological Engineering*. Vol. 41, pp. 60-64.

Loh, T. C., Lee, Y. C., Liang, J. B., Tan, D. 2005. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology*. Vol. 96, pp. 111-114.

Lowe, C. N., Butt, K. R., Sherman, R. L. 2014. Current and potential benefits of mass earthworm culture. *Mass Production and Beneficial Organisms*. doi:10.1016/B978-0-12-391453-8.00020-0

Mahath, C. S. 2016. Effective disposal of sewage sludge by composting method. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*. Vol. 2, Issue 6.

Masri, I. N., Bakar, N. H. A., Yusoff, W. A. W., Basir, M. H. 2016. Penghasilan vermikompos menggunakan bahan sisa buangan pertanian. *Buletin Teknologi MARDI*. Vol. 10, hal. 29-35.

Mulyadi, A. 2008. Karakteristik Kompos dari Bahan Tanaman Kaliandra, Jerami Padi, dan Sampah Sayuran. Laporan Tugas Akhir. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Nadi, M., Golchin, A., Mozafari, V., Saeidi, T., Sedaghati, E. 2011. The effects of different vermicomposts on the growth and chemical composition of the pistachio seedlings. *Journal of Research in Agricultural Science*. Vol. 7 (1), pp. 59-69.

Nagavallemma, K. P., Wani, S. P., Stephane, L., Padmaja, V. V., Vineela, C., Babu, R. M., Sahrawat, K. L. 2004. Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. *Global Theme on Agrecosystems Report*. Vol. 2 (8), Issue 1.

Nair, J., Sekiozoic, V., Anda, M. 2006. Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology*. Vol. 97, pp. 2091-2095.

Nurjazuli, Awiyatul, A., Juliana, C., Pertiwi, K. D., Samosir, K., Prasetyawati, P., Pertiwi, S. 2016. Teknologi pengolahan sampah organik menjadi kompos cair. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II*. e-ISSN 2541-3880.

Pemerintah Republik Indonesia. *Status Lingkungan Hidup Kota Surabaya Tahun 2012.*

Pramaswari, I. A. A., Suyasa, I. W. B., Putra, A. G. B. 2011. Kombinasi bahan organik (rasio C:N) pada pengolahan lumpur (*sludge*) limbah pencelupan. *Jurnal Kimia*. Vol. 5 (1), hal. 64-71.

Putri, Y. 2008. Pembuatan briket dari komposit lumpur IPAL PT. SIER dengan sampah plastik HDPE dan LDPE sebagai alternatif sumber energi. Laporan Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Rahmatullah, F. 2013. Potensi vermikompos dalam meningkatkan kadar N dan P pada pupuk dari limbah tikar pandan, pelepah pisang dan *sludge* IPAL PT. Djarum. Laporan Tugas Akhir. Universitas Negeri Semarang, Semarang.

Rahmawati, E. 2015. Pemanfaatan cacing *E. eugeniae* dan *E. foetida* dalam mendegradasi sampah kebun. Laporan Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Ristiawan, A., Syafrudin, Samudro, G. 2013. Studi pemanfaatan aktivator lumpur aktif dan EM4 dalam proses pengomposan lumpur organik, sampah organik domestik, limbah bawang merah goreng dan limbah kulit bawang. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 2 (1), hal. 1-9.

Rodriguez-Campos, J., Dendooven, L., Alvarez-Bernal, D., Contreras-Ramos, S. M. 2014. Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: A review. *Applied Soil Ecology*. Vol. 79, pp. 10-25.

Rosik-Dulewska, C., Cleslelczuk, T., Karwaczynska, U., Gabriel, H. 2014. The influence of red worms (*E. foetida*) on

compost's fertilizing properties. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 15 (2), pp. 67-72.

Sahwan, F. L. 2013. Potensi komposting sampah skala rumah tangga untuk mereduksi timbulan sampah (pilot proyek di perumahan puspiptek Serpong). *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 14 (1), hal. 25-34.

Salsavira, R. F. 2013. Komposisi: Rasio C/N.

Sawyer, C. N. 2013. Chemistry for Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill Inc.

Setyorini, D., Saraswati, R., Anwar, E. K. 2008. Pupuk organik dan pupuk hayati. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.

Singh, R. P., Singh, P., Araujo, A. S. F., Ibrahim, M. H., Sulaiman, O. 2011. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 55, pp. 719-729.

Sitorus, B. 2013. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*. Jakarta.

SNI 19-7030-2004. *Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik.*

Soetopo, R. S., Purwati, S., Setiawan, Y., Adhytia, K. 2011. Efektivitas proses kontinyu digestasi anaerobik dua tahap pada pengolahan lumpur biologi industri kertas. *Jurnal Riset Industri*. Vol. 5 (2), hal. 131-142.

Sutanto, R. 2002. Penerapan pertanian organik: Pemasyarakatan dan pengembangannya. Kanisius, Yogyakarta.

Suthar, S. 2009. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecological Engineering*. Vol. 71, pp. 660-666.

Suthar, S., Gairola, S. 2014. Nutrient Recovery from Urban Forest Leaf Litter Solids Using *Eisena fetida*. *Ecological Engineering*. Vol. 35, pp. 914-920.

Suthar, S., Sharma, P. 2013. Vermicomposting of Toxic Weed-Lantana Camara Biomass: Chemical and Microbial

Properties Changes and Assessment of Toxicity of End Product Using Seed Bioassay. *Ecotoxicol Environ Saf*. 95: 179-87.

Syafrudin. 2004. Model pengelolaan sampah berbasis masyarakat (kajian awal untuk kasus Kota Semarang). Makalah Diskusi Interaktif. Universitas Diponegoro, Semarang.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, Samuel. 1993. Integrated solid waste management: Engineering principles and issues. McGraw Hill International Editions.

Tuomela, M. 2000. Biodegradation of Lignin in a Compost Environment: a review. Science Direct.

Vargas. 2005. Assessing the Stability and Maturing of Compost at Large Scale Plants. Science Direct.

Wahyono, S. 2001. Pengolahan sampah organik dan aspek sanitasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Vol. 2 (2), hal. 113-118.

Wani, K. A., Mamta, Rao, R. J. 2013. Bioconversion of Garden Waste, Kitchen Waste and Cow Dung into Value-added Products Using Earthworm *Eisenia fetida*. *Biological Science*. Vol. 20 (2), pp. 149-154.

Widarti, B. N., Wardhini, W. K., Sarwono, E. 2015. Pengaruh Rasio C/N Bahan Baku Pada Pembuatan Kompos Dari Kubis dan Kulit Pisang. *Jurnal Integrasi Proses*. Vol. 5 (2), hal. 75-80.

Xueling, S. 2006. Nitrogen Transformation in Food Waste Composting. University of Regina: Environmental Systems Engineering.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A
PROSEDUR PERCOBAAN

1. Analisis Densitas

a. Peralatan dan bahan

Alat: timbangan, gelas ukur 100 mL

Bahan: sampah kebun dan lumpur biologis

b. Prosedur kerja analisis

- Masukkan sampah dan lumpur ke dalam masing-masing gelas ukur hingga volume 100 mL.
- Timbang dengan timbangan dan lakukan pembacaan terhadap timbangan.
- Hitung densitas dengan rumus perhitungan**.**

$$\text{Densitas} = \frac{\text{Berat material organik (kg)}}{\text{Volume material organik (m}^3\text{)}}$$

2. Analisis Kadar Air dan *Volatile Solid*

a. Peralatan dan bahan

Alat: furnace dengan suhu 550°C, oven dengan suhu 105°C, cawan porselen, neraca analitik, desikator, penjepit

Bahan: sampel

b. Prosedur kerja analisis kadar air

- Siapkan cawan porselen yang sudah dioven selama ± 1 jam, kemudian dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
- Timbang cawan porselen kosong dengan menggunakan neraca analitik, catat hasil pembacaannya (a).
- Tambahkan sampel sebanyak 2 gram ke dalam cawan kosong, kemudian timbang dan catat hasil pembacaannya (b).
- Keringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit,

kemudian timbang dengan neraca analitik dan catat hasil pembacaannya (c).

- Hitung kadar air dengan rumus perhitungan.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(b - a) - (c - a)}{(b - a)} \times 100\%$$

Dimana:

a = berat awal cawan kosong
b = berat cawan kosong+sampel
c = berat cawan+sampel setelah dioven

c. Prosedur kerja analisis *volatile solid*

- Cawan + berat kering ditimbang dengan neraca analitik (c).
- Cawan dimasukkan furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam.
- Keringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 15 menit. Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit, kemudian timbang dengan neraca analitik dan catat hasil pembacaannya (d).
- Hitung kadar *volatile solid* dengan rumus perhitungan.

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

Dimana:

a = berat awal cawan kosong
c = berat cawan+sampel setelah dioven
d = berat cawan+berat abu

3. Analisis pH

a. Peralatan dan bahan

Alat: pH meter, *beaker glass* 250 mL, *magnetic stirrer*, gelas ukur 100 mL

Bahan: sampel, aquades

b. Prosedur kerja analisis

- Timbang sampel sebanyak 2 gram dengan neraca analitik, lalu masukkan ke dalam *beaker glass* 250 mL.
- Tambahkan 100 mL aquades.
- Aduk dengan *magnetic stirrer* selama 10 menit.
- Ukur dan catat hasil pembacaan pH meter.

4. Analisis Suhu

a. Peralatan dan bahan

Alat: termometer suhu

Bahan: sampel

b. Prosedur kerja analisis

- Tancapkan termometer suhu pada sampel di dalam reaktor hingga setengah kedalaman sampah dalam reaktor.
- Lakukan pembacaan pada termometer.

5. Analisis Total C-organik

a. Peralatan dan bahan

Alat: neraca analitik, erlenmeyer 250 mL, pipet tetes, pipet ukur, gelas ukur, buret 25 mL

Bahan: sampel, aquades, $K_2Cr_2O_7$ 1 N, campuran H_2SO_4 95% dan perak, indikator ferroin, $FeSO_4$ 0,4 N

b. Prosedur kerja pembuatan reagen

- Larutan $K_2Cr_2O_7$ 1 N

  Timbang dengan teliti 49,04 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan di oven 105°C. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.
- Asam sulfat 95%

  Digunakan langsung dari botolnya tanpa dituang ke *beaker glass.*
- Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,4 N

  Timbang dengan teliti 112 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ kemudian tambahkan dengan 15 mL H_2SO_4 pekat.

Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.

- Larutan indikator ferroin

  Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $FeSO_4.7H_2O$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL. Letakkan dalam botol gelap dan terhindar dari sinar matahari.

c. Prosedur kerja analisis

- Timbang sampel sebanyak 0,002 gram yang telah diayak.
- Tambahkan aquades sebanyak 1 mL lalu masukkan ke dalam tabung COD.
- Larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 mL dan kocok.
- Larutan campuran asam (H_2SO_4) dan perak ditambahkan sebanyak 3,5 mL dan kocok hingga merata.
- Panaskan hingga 2 jam.
- Lakukan langkah yang sama untuk blanko.
- Dinginkan selama 20-30 menit.
- Kemudian ditambahkan indikator ferroin sebanyak 3-4 tetes.
- Titrasi menggunakan larutan standart FAS 0,05 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat.
- Hitung nilai C dengan rumus perhitungan.

  C-organik (%) $= \frac{0{,}003\ g\ x\ N\ x\ (\mathrm{S}-\mathrm{T})\ x\ 100}{ODW}$

  Dimana:

  T = mL $FeSO_4$ untuk titrasi sampel

  S = mL $FeSO_4$ untuk titrasi blanko

  N = normalitas larutan FAS

  ODW = berat kering sampel (g)

6. Analisis Total Kjehdahl Nitrogen

a. Peralatan dan bahan

Alat: neraca analitik, tabung dan alat kjehdahl, spektrofotometer, labu pengencer 1000 mL, erlenmeyer 100 mL

Bahan: sampel, H_2SO_4 pekat, garam signet, larutan nessler

b. Prosedur kerja pembuatan reagen

- H_2SO_4 pekat
  Digunakan langsung dari botolnya tanpa dituang ke *beaker glass.*
- Garam signet
  Larutkan 50 gram K.Na.Tartrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.
- Nessler
  Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI_2 dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatannya.

c. Prosedur kerja analisis

- Timbang 0,05 gram sampel dengan neraca analitik.
- Masukkan ke dalam labu kjehdahl.
- Tambahkan 5 mL H_2SO_4 pekat dan aquades sebanyak 20 mL.
- Panaskan dengan alat kjehdahl selama 4 jam hingga warna berubah hijau.
- Dinginkan hasil destilasi. Kemudian encerkan menjadi 25 mL, setelah itu ambil 10 mL dan masukkan kedalam labu erlenmeyer 100 mL.
- Tambahkan 0,5 mL garam signet dan 0,4 mL nessler.
- Diamkan selama 10 menit.

- Lakukan tahap sebelumnya pada aquades sebagai blanko.
- Baca dengan spektrofotometer, dengan panjang gelombang 390 µm.
- Hitung total kjehdahl nitrogen dengan rumus dari kurva kalibrasi.

7. Analisis N dalam Ammonia (NH_3-N)

a. Peralatan dan bahan

Alat: neraca analitik, gelas ukur 100 mL, labu pengencer 1000 mL, erlenmeyer 100 mL, spektrofotometer

Bahan: sampel, NaOH 4 N, garam signet, larutan nessler

b. Prosedur kerja pembuatan reagen

- Nessler

  Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI_2 dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatannya.
- Garam signet

  Larutkan 50 gram K.Na.Tatrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.
- Larutan standart ammonium (100 ppm atau 100 mg/L)

  Timbang dengan teliti 382,14 mg NH_4Cl kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L. Ditambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet.

c. Prosedur kerja analisis

- Timbang 2 gram sampel dengan neraca anallitis kemudian encerkan menjadi 100 mL.
- Aduk dengan *magnetic stirrer* selama 45 menit.
- Kemudian ambil 10 mL dan masukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL.
- Tambahkan 0,5 mL garam signet dan 0,4 mL nessler.

- Diaduk dan diamkan selama 10 menit.
- Lakukan langkah sebelumnya pada aquades sebagai blanko.
- Baca dengan spektrofotometer, dengan panjang gelombang 390 µm.
- Hitung nilai ammonia nitrogen dengan rumus dari kurva kalibrasi.

8. Analisis N dalam Nitrat (NO_3-N)

a. Peralatan dan bahan

Alat: neraca analitik, gelas ukur 100 mL, labu pengencer 1000 mL, erlenmeyer 100 mL, spektrofotometer

Bahan: sampel, H_2SO_4 pekat, brucin asetat 0,05 N

b. Prosedur kerja pembuatan reagen

- Brucine asetat 0,5%

  Larutkan 0,5 gram serbuk brucine dengan 100 mL acetic acid glacial (CH_3COOH) di dalam labu pengencer 100 mL, kocok hingga larut sempurna.
- H_2SO_4 pekat

  Digunakan langsung dari botolnya tanpa dituang ke *beaker glass.*
- Larutan standart nitrat (100 ppm atau 100 mg/L)

  Timbang dengan teliti 721,8 mg KNO_3 kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L.

c. Prosedur kerja analisis

- Timbang 2 gram sampel dengan neraca anallitis kemudian encerkan menjadi 100 mL.
- Aduk dengan *magnetic stirrer* selama 45 menit.
- Kemudian ambil 1 mL dan masukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL.
- Tambahkan 1 mL brucin acetat.
- Tambahkan 2 ml H_2SO_4 pekat.
- Aduk dan diamkan selama 10 menit.

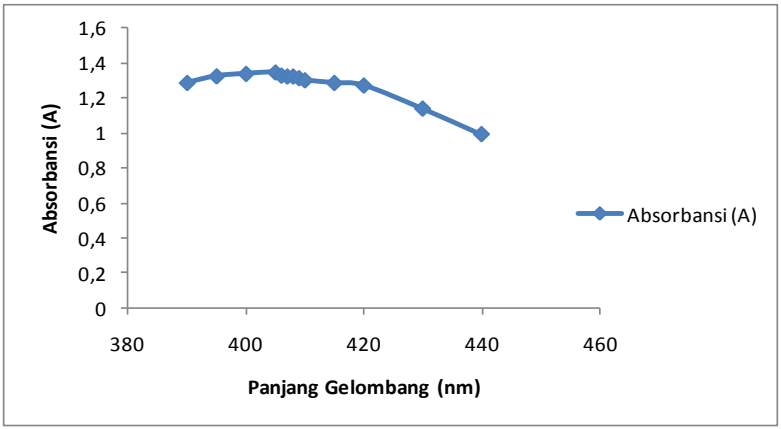
- Baca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 405 µm.
- Hitung nilai nitrat dengan rumus dari kurva kalibrasi.

LAMPIRAN B
PENENTUAN PANJANG GELOMBANG DAN KURVA KALIBRASI

A. N-nitrat

a. Penentuan panjang gelombang maksimum

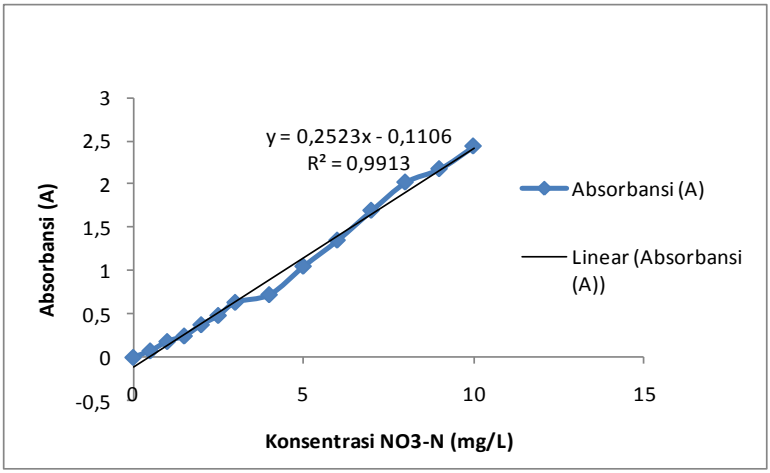
Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
390	1,285
395	1,323
400	1,337
405	1,345
406	1,327
407	1,322
408	1,322
409	1,312
410	1,300
415	1,285
420	1,270
430	1,137
440	0,990



b. Kurva Kalibrasi Analisis N-nitrat

Digunakan panjang gelombang 405 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
0,5	0,075
1	0,183
1,5	0,247
2	0,377
2,5	0,484
3	0,635
4	0,724
5	1,052
6	1,353
7	1,697
8	2,023
9	2,177
10	2,439



B. N-ammonia

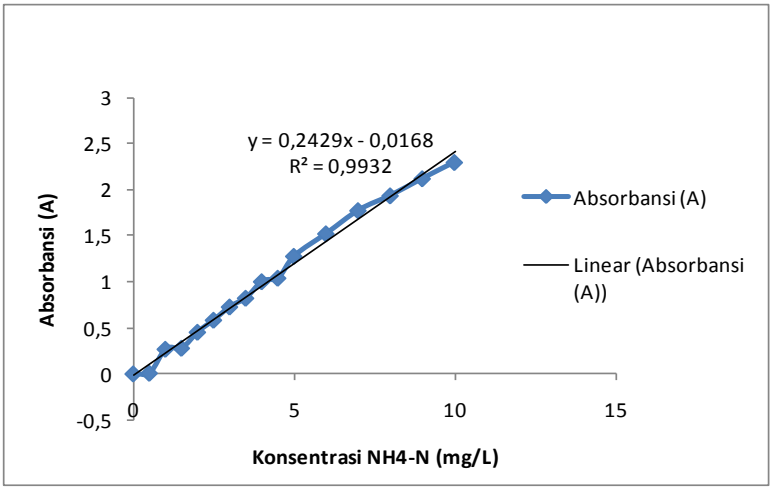
a. Penentuan panjang gelombang maksimum

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
388	1,522
389	1,551
390	1,564
391	1,560
392	1,527
393	1,508
394	1,481
395	1,472
396	1,468
397	1,426
398	1,412
399	1,409
400	1,377

b. Kurva Kalibrasi Analisis N-ammonia

Digunakan panjang gelombang 390 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
0,5	0,007
1	0,268
1,5	0,279
2	0,453
2,5	0,584
3	0,728
3,5	0,823
4	1,003
4,5	1,041
5	1,279
6	1,524
7	1,776
8	1,937
9	2,123
10	2,300


y = 0,2429x - 0,0168
R² = 0,9932
Absorbansi (A)
Linear (Absorbansi (A))
Absorbansi (A)
Konsentrasi NH4-N (mg/L)
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
0
5
10
15

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI

Analisa Ammonia Nitrat

Pengukuran Kadar Air

Uji TKN

Pengukuran volatile solid

Pengukuran C

Pengukuran pH

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D DATA ANALISIS

1. C-organik

Reaktor	Hari ke-						
	0	10	20	30	40	50	60
P10-EE	31,751%	28,875%	26,720%	24,204%	21,180%	19,172%	17,411%
P10-LR	31,751%	28,875%	27,016%	25,359%	22,281%	19,953%	17,946%
P10-K	31,751%	28,875%	28,104%	27,672%	26,312%	24,063%	24,000%
P20-EE	31,751%	28,875%	28,237%	25,299%	24,387%	22,964%	21,207%
P20-LR	31,751%	28,875%	28,237%	27,614%	25,109%	22,831%	21,403%
P20-K	31,751%	28,875%	28,237%	28,589%	26,938%	24,801%	24,531%
P30-EE	31,751%	28,875%	28,237%	24,643%	21,950%	19,124%	15,170%
P30-LR	31,751%	28,875%	28,237%	24,643%	22,360%	20,902%	17,511%
P30-K	31,751%	28,875%	28,237%	24,643%	27,043%	26,025%	24,497%

Reaktor	Hari ke-						
	0	10	20	30	40	50	60
P10-EE	0,234	0,213	0,197	0,179	0,135	0,117	0,070
P10-LR	0,231	0,210	0,196	0,184	0,140	0,120	0,075
P10-K	0,191	0,174	0,169	0,166	0,150	0,133	0,128
P20-EE	0,233	0,212	0,207	0,186	0,150	0,135	0,082
P20-LR	0,229	0,208	0,204	0,199	0,162	0,135	0,092
P20-K	0,190	0,172	0,169	0,171	0,165	0,149	0,138
P30-EE	0,234	0,213	0,208	0,182	0,124	0,108	0,079
P30-LR	0,231	0,210	0,205	0,179	0,131	0,111	0,090
P30-K	0,191	0,174	0,170	0,148	0,128	0,120	0,105

2. TKN

Reaktor	Hari ke-				
	0	10	30	50	60
P10-EE	0,935%	0,847%	0,759%	0,616%	0,440%
P10-LR	0,935%	0,924%	0,912%	0,648%	0,671%
P10-K	0,935%	0,868%	0,801%	0,493%	0,359%
P20-EE	0,935%	0,865%	0,780%	0,744%	0,605%
P20-LR	0,935%	0,966%	0,996%	0,708%	0,769%
P20-K	0,935%	0,892%	0,849%	0,750%	0,664%
P30-EE	0,935%	0,942%	0,700%	0,724%	0,538%
P30-LR	0,935%	0,774%	0,612%	0,741%	0,418%
P30-K	0,935%	0,787%	0,640%	0,798%	0,502%

Reaktor	Hari ke-				
	0	10	30	50	60
P10-EE	0,0069	0,0063	0,0056	0,0038	0,0018
P10-LR	0,0068	0,0067	0,0066	0,0039	0,0028
P10-K	0,0056	0,0052	0,0048	0,0027	0,0019
P20-EE	0,0069	0,0064	0,0057	0,0044	0,0023
P20-LR	0,0068	0,0070	0,0072	0,0042	0,0033
P20-K	0,0056	0,0053	0,0051	0,0045	0,0037
P30-EE	0,0069	0,0062	0,0052	0,0041	0,0028
P30-LR	0,0068	0,0056	0,0044	0,0039	0,0021
P30-K	0,0056	0,0047	0,0038	0,0037	0,0021

3. N-ammonia

Reaktor	Hari ke-						
	0	10	20	30	40	50	60
P10-EE	0,119%	0,125%	0,085%	0,083%	0,081%	0,107%	0,055%
P10-LR	0,119%	0,125%	0,070%	0,065%	0,061%	0,152%	0,044%
P10-K	0,119%	0,125%	0,088%	0,083%	0,081%	0,116%	0,074%
P20-EE	0,119%	0,125%	0,146%	0,123%	0,100%	0,112%	0,087%
P20-LR	0,119%	0,125%	0,146%	0,136%	0,120%	0,102%	0,077%
P20-K	0,119%	0,125%	0,146%	0,113%	0,133%	0,125%	0,073%
P30-EE	0,119%	0,125%	0,146%	0,113%	0,067%	0,110%	0,051%
P30-LR	0,119%	0,125%	0,146%	0,113%	0,068%	0,135%	0,068%
P30-K	0,119%	0,125%	0,146%	0,113%	0,082%	0,111%	0,111%

Reaktor	Hari ke-						
	0	10	20	30	40	50	60
P10-EE	0,00087	0,00093	0,00062	0,00062	0,00052	0,00065	0,00022
P10-LR	0,00086	0,00091	0,00051	0,00047	0,00038	0,00091	0,00018
P10-K	0,00071	0,00075	0,00053	0,00050	0,00046	0,00064	0,00039
P20-EE	0,00087	0,00092	0,00107	0,00090	0,00061	0,00066	0,00034
P20-LR	0,00086	0,00090	0,00105	0,00098	0,00078	0,00060	0,00033
P20-K	0,00071	0,00075	0,00087	0,00068	0,00082	0,00075	0,00041
P30-EE	0,00087	0,00093	0,00108	0,00084	0,00038	0,00062	0,00027
P30-LR	0,00086	0,00091	0,00106	0,00082	0,00040	0,00072	0,00035
P30-K	0,00071	0,00075	0,00088	0,00068	0,00039	0,00051	0,00048

4. N-nitrat

Reaktor	Hari ke-						
	0	10	20	30	40	50	60
P10-EE	0,036%	0,021%	0,040%	0,088%	0,183%	0,222%	0,587%
P10-LR	0,036%	0,021%	0,046%	0,114%	0,183%	0,208%	0,784%
P10-K	0,036%	0,021%	0,057%	0,073%	0,048%	0,064%	0,049%
P20-EE	0,036%	0,021%	0,059%	0,178%	0,298%	0,584%	0,775%
P20-LR	0,036%	0,021%	0,059%	0,128%	0,231%	0,324%	0,417%
P20-K	0,036%	0,021%	0,059%	0,141%	0,089%	0,082%	0,067%
P30-EE	0,036%	0,021%	0,059%	0,146%	0,204%	0,261%	0,287%
P30-LR	0,036%	0,021%	0,059%	0,146%	0,231%	0,260%	0,279%
P30-K	0,036%	0,021%	0,059%	0,146%	0,106%	0,067%	0,028%

Reaktor	Hari ke-						
	0	10	20	30	40	50	60
P10-EE	0,00027	0,00016	0,00030	0,00065	0,00117	0,00135	0,00237
P10-LR	0,00026	0,00015	0,00033	0,00083	0,00115	0,00126	0,00326
P10-K	0,00022	0,00013	0,00034	0,00044	0,00027	0,00036	0,00026
P20-EE	0,00027	0,00016	0,00043	0,00131	0,00183	0,00344	0,00300
P20-LR	0,00026	0,00015	0,00042	0,00092	0,00149	0,00192	0,00180
P20-K	0,00022	0,00013	0,00035	0,00084	0,00054	0,00049	0,00038
P30-EE	0,00027	0,00016	0,00043	0,00108	0,00115	0,00148	0,00148
P30-LR	0,00026	0,00015	0,00043	0,00106	0,00135	0,00138	0,00143
P30-K	0,00022	0,00013	0,00035	0,00088	0,00050	0,00031	0,00012

5. N-total

Reaktor	Hari ke-				
	0	10	30	50	60
P10-EE	0,971%	0,868%	0,847%	0,838%	1,027%
P10-LR	0,971%	0,945%	0,958%	0,762%	0,853%
P10-K	0,971%	0,889%	0,857%	0,567%	0,407%
P20-EE	0,971%	0,887%	0,839%	0,923%	0,903%
P20-LR	0,971%	0,987%	1,055%	0,835%	1,000%
P20-K	0,971%	0,913%	0,908%	0,891%	0,753%
P30-EE	0,971%	0,863%	0,759%	0,870%	0,742%
P30-LR	0,971%	0,795%	0,671%	0,887%	0,649%
P30-K	0,971%	0,808%	0,698%	0,943%	0,609%

Reaktor	Hari ke-				
	0	10	30	50	60
P10-EE	0,0072	0,0064	0,0063	0,0051	0,0042
P10-LR	0,0071	0,0069	0,0070	0,0046	0,0036
P10-K	0,0058	0,0053	0,0052	0,0031	0,0022
P20-EE	0,0071	0,0065	0,0062	0,0054	0,0035
P20-LR	0,0070	0,0071	0,0076	0,0049	0,0043
P20-K	0,0058	0,0055	0,0054	0,0054	0,0042
P30-EE	0,0072	0,0064	0,0056	0,0049	0,0038
P30-LR	0,0071	0,0058	0,0049	0,0047	0,0033
P30-K	0,0058	0,0049	0,0042	0,0043	0,0026

6. N-organik

Reaktor	Hari ke-				
	0	10	30	50	60
P10-EE	0,816%	0,722%	0,676%	0,509%	0,385%
P10-LR	0,816%	0,798%	0,847%	0,496%	0,627%
P10-K	0,816%	0,743%	0,718%	0,378%	0,285%
P20-EE	0,816%	0,740%	0,657%	0,632%	0,518%
P20-LR	0,816%	0,840%	0,861%	0,606%	0,691%
P20-K	0,816%	0,767%	0,736%	0,626%	0,591%
P30-EE	0,816%	0,717%	0,587%	0,614%	0,487%
P30-LR	0,816%	0,648%	0,499%	0,606%	0,350%
P30-K	0,816%	0,662%	0,526%	0,686%	0,391%

Reaktor	Hari ke-				
	0	10	30	50	60
P10-EE	0,0060	0,0053	0,0050	0,0031	0,0016
P10-LR	0,0059	0,0058	0,0061	0,0030	0,0026
P10-K	0,0049	0,0045	0,0043	0,0021	0,0015
P20-EE	0,0060	0,0054	0,0048	0,0037	0,0020
P20-LR	0,0059	0,0061	0,0062	0,0036	0,0030
P20-K	0,0049	0,0046	0,0044	0,0038	0,0033
P30-EE	0,0060	0,0053	0,0043	0,0035	0,0025
P30-LR	0,0059	0,0047	0,0036	0,0032	0,0018
P30-K	0,0049	0,0040	0,0032	0,0032	0,0017

7. Rasio C/N total

Reaktor	Hari ke-				
	0	10	30	50	60
P10-EE	32,690	33,256	28,576	22,881	16,955
P10-LR	32,690	30,563	24,712	23,305	12,337
P10-K	32,690	32,475	31,655	43,140	58,847
P20-EE	32,690	32,566	26,398	17,283	15,362
P20-LR	32,690	29,261	24,572	22,127	18,049
P20-K	32,690	31,618	28,888	29,818	33,513
P30-EE	32,690	33,448	29,136	19,413	18,399
P30-LR	32,690	36,329	32,511	20,882	25,124
P30-K	32,690	35,714	31,378	30,096	46,228

8. Kadar Air

Reaktor	Hari ke-												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
P10-EE	58,84%	50,06%	46,77%	43,92%	47,78%	47,43%	44,85%	37,19%	34,26%	44,55%	42,85%	52,29%	44,61%
P10-LR	58,84%	50,06%	46,77%	47,00%	46,65%	44,88%	44,85%	31,78%	36,19%	45,66%	43,39%	51,61%	44,96%
P10-K	58,84%	50,06%	46,77%	39,66%	31,34%	29,21%	44,85%	32,83%	38,34%	36,36%	36,06%	45,64%	34,12%
P20-EE	58,84%	50,06%	46,77%	47,60%	46,41%	36,46%	51,47%	38,72%	37,79%	48,53%	45,08%	53,16%	47,16%
P20-LR	58,84%	50,06%	46,77%	47,60%	46,41%	40,00%	51,47%	31,54%	35,58%	46,31%	46,70%	51,96%	46,66%
P20-K	58,84%	50,06%	46,77%	47,60%	46,41%	38,55%	51,47%	30,32%	33,25%	30,36%	30,89%	36,27%	32,04%
P30-EE	58,84%	50,06%	46,77%	47,60%	46,41%	42,94%	43,82%	44,10%	43,93%	50,66%	48,63%	56,55%	48,11%
P30-LR	58,84%	50,06%	46,77%	47,60%	46,41%	42,94%	43,82%	37,72%	40,52%	51,71%	50,49%	45,00%	48,05%
P30-K	58,84%	50,06%	46,77%	47,60%	46,41%	42,94%	43,82%	45,78%	49,61%	46,24%	45,56%	52,46%	44,09%

Reaktor	Hari ke-												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
P10-EE	0,434	0,370	0,345	0,324	0,353	0,350	0,331	0,250	0,219	0,276	0,262	0,264	0,181
P10-LR	0,427	0,364	0,340	0,341	0,339	0,326	0,326	0,234	0,228	0,277	0,261	0,268	0,187
P10-K	0,354	0,301	0,281	0,238	0,188	0,176	0,270	0,219	0,219	0,207	0,200	0,250	0,182
P20-EE	0,432	0,367	0,343	0,349	0,341	0,268	0,378	0,254	0,232	0,283	0,265	0,266	0,182
P20-LR	0,425	0,361	0,338	0,344	0,335	0,289	0,372	0,233	0,230	0,288	0,276	0,279	0,201
P20-K	0,351	0,299	0,279	0,284	0,277	0,230	0,307	0,206	0,204	0,190	0,186	0,235	0,181
P30-EE	0,434	0,370	0,345	0,351	0,343	0,317	0,323	0,273	0,249	0,288	0,275	0,300	0,249
P30-LR	0,427	0,364	0,340	0,346	0,337	0,312	0,318	0,251	0,237	0,283	0,268	0,298	0,246
P30-K	0,354	0,301	0,281	0,286	0,279	0,258	0,263	0,249	0,235	0,222	0,209	0,245	0,189

9. *Volatile Solid*

Reaktor	Hari ke-												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
P10-EE	80,19%	69,68%	66,66%	58,45%	68,96%	63,89%	54,12%	52,40%	50,22%	49,15%	48,57%	50,32%	49,42%
P10-LR	80,19%	69,68%	66,66%	67,04%	67,95%	58,95%	54,12%	44,30%	46,89%	50,28%	48,36%	50,04%	49,59%
P10-K	80,19%	69,68%	66,66%	70,48%	57,42%	68,10%	54,12%	42,07%	49,68%	49,81%	50,26%	51,80%	49,47%
P20-EE	80,19%	69,68%	66,66%	67,36%	67,35%	64,16%	57,14%	51,12%	49,14%	50,86%	50,27%	52,62%	51,88%
P20-LR	80,19%	69,68%	66,66%	67,36%	67,35%	64,71%	57,14%	47,70%	54,06%	56,95%	54,75%	54,10%	53,76%
P20-K	80,19%	69,68%	66,66%	67,36%	67,35%	58,94%	57,14%	47,30%	54,06%	46,75%	48,83%	50,17%	49,32%
P30-EE	80,19%	69,68%	66,66%	67,36%	67,35%	63,73%	52,09%	53,60%	52,01%	51,66%	50,21%	49,66%	51,33%
P30-LR	80,19%	69,68%	66,66%	67,36%	67,35%	63,73%	52,09%	45,72%	50,31%	52,80%	53,43%	53,04%	50,54%
P30-K	80,19%	69,68%	66,66%	67,36%	67,35%	63,73%	52,09%	45,48%	52,28%	49,60%	50,89%	49,55%	49,27%

Reaktor	Hari ke-												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
P10-EE	0,592	0,514	0,492	0,431	0,509	0,472	0,399	0,353	0,321	0,305	0,296	0,254	0,200
P10-LR	0,582	0,506	0,484	0,487	0,493	0,428	0,393	0,326	0,295	0,305	0,291	0,260	0,206
P10-K	0,482	0,419	0,401	0,424	0,345	0,409	0,325	0,280	0,283	0,284	0,279	0,284	0,264
P20-EE	0,589	0,511	0,489	0,494	0,494	0,471	0,419	0,335	0,301	0,296	0,296	0,263	0,201
P20-LR	0,579	0,503	0,481	0,486	0,486	0,467	0,413	0,352	0,349	0,354	0,324	0,290	0,232
P20-K	0,479	0,416	0,398	0,402	0,402	0,352	0,341	0,322	0,331	0,293	0,294	0,325	0,278
P30-EE	0,592	0,514	0,492	0,497	0,497	0,470	0,385	0,332	0,295	0,294	0,284	0,263	0,266
P30-LR	0,582	0,506	0,484	0,489	0,489	0,463	0,378	0,305	0,295	0,289	0,284	0,352	0,258
P30-K	0,482	0,419	0,401	0,405	0,405	0,383	0,313	0,248	0,247	0,239	0,234	0,231	0,211

10. pH

Reaktor	Hari ke-												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
P10-EE	7,77	7,82	7,41	6,71	6,85	6,70	7,67	7,45	7,54	7,49	7,13	7,22	7,27
P10-LR	7,77	7,82	7,41	6,78	6,92	6,47	7,67	7,64	7,67	7,40	7,12	7,25	7,21
P10-K	7,77	7,82	7,41	6,77	6,93	7,15	7,67	7,91	7,85	7,86	7,57	7,93	7,90
P20-EE	7,77	7,82	7,41	6,74	6,63	7,17	7,76	7,59	7,59	7,36	7,22	7,26	7,33
P20-LR	7,77	7,82	7,41	6,74	6,63	7,09	7,76	7,62	7,64	7,34	7,13	7,16	7,21
P20-K	7,77	7,82	7,41	6,74	6,63	6,90	7,76	7,74	7,78	8,07	7,54	7,78	7,61
P30-EE	7,77	7,82	7,41	6,74	6,63	7,01	7,64	7,62	7,78	7,72	7,15	7,46	7,43
P30-LR	7,77	7,82	7,41	6,74	6,63	7,01	7,64	7,39	7,73	7,41	7,14	7,31	7,25
P30-K	7,77	7,82	7,41	6,74	6,63	7,01	7,64	7,58	8,02	7,67	7,48	7,93	7,49

11. Suhu

Reaktor	Hari ke-												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
P10-EE	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	30,65	29,85	29,6	28,55	29,45	29,5	30,2
P10-LR	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	34,8	29,25	29,15	29,65	30,35	29,8	30,9
P10-K	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	29,55	29,35	28,6	29,65	29,2	29,7	30,1
P20-EE	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	34,8	35,7	32,2	33,7	32,8	31,6	29,15
P20-LR	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	34,8	35,7	32,2	33,7	32,8	31,6	29,3
P20-K	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	34,8	35,7	32,2	33,7	32,8	31,6	29,4
P30-EE	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	34,8	35,7	32,2	33,7	32,8	31,6	31,1
P30-LR	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	34,8	35,7	32,2	33,7	32,8	31,6	31,1
P30-K	44,7	48,1	51,1	40,4	40	40,5	34,8	35,7	32,2	33,7	32,8	31,6	31,1

Reaktor	Hari ke-												
	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
P10-EE	29,55	29,55	31,5	30,5	29,65	26,7	26,1	30	24,85	29,6	30,35	28,1	28,85
P10-LR	29,8	29,85	30,95	31	29,4	26	26,35	30	24,55	29,95	30,8	28,05	28,7
P10-K	29,7	28,9	29,55	30,2	28,85	25,95	26,1	30,6	25	29,35	30,1	28,55	30,15
P20-EE	29,35	29,35	30	30,55	29,5	25,95	26,3	30,45	25,35	29,45	29,6	28,3	28,3
P20-LR	29,35	30,25	30,95	30,45	29,1	26,65	26,05	30,2	24,55	29,5	30,3	28,35	28,95
P20-K	29,8	28,95	30	30,4	29,4	26	26,4	29,95	25,2	29,2	29,9	28,45	29,85
P30-EE	30,1	29,8	30,45	30,45	29,5	25,95	26,05	30,2	24,85	30,45	29,55	28,1	28,35
P30-LR	30,1	29,8	30,45	30	28,7	26,7	26,05	29,85	24,75	29,5	30,8	27,85	29,35
P30-K	30,1	29,8	29,05	29,85	28,9	26,1	26,1	29,65	25,4	29,35	29,65	28	29,15

Reaktor	Hari ke-				
	52	54	56	58	60
P10-EE	27,7	27,65	30	30,4	27,1
P10-LR	27,75	27,8	29,55	29,25	28,1
P10-K	28,55	28,4	29,85	30,15	29,25
P20-EE	28,05	27,6	30,9	30,15	27,65
P20-LR	28,05	27,9	30,8	30,3	27,45
P20-K	28,3	28,95	30,75	30,3	28,7
P30-EE	27,7	28,95	28,95	29,5	26,85
P30-LR	26,85	27,85	28,85	24,8	27,35
P30-K	28,45	28	30,3	29,65	28,05

12. Berat Kering

Reaktor	Hari ke-												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
P10-EE	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,673	0,639	0,620	0,610	0,505	0,405
P10-LR	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,737	0,629	0,608	0,602	0,520	0,416
P10-K	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,666	0,570	0,570	0,554	0,548	0,533
P20-EE	0,734	0,734	0,734	0,734	0,734	0,734	0,734	0,655	0,613	0,582	0,589	0,500	0,387
P20-LR	0,722	0,722	0,722	0,722	0,722	0,722	0,722	0,738	0,645	0,622	0,592	0,536	0,431
P20-K	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,680	0,612	0,627	0,603	0,647	0,564
P30-EE	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,619	0,567	0,569	0,565	0,530	0,518
P30-LR	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,726	0,666	0,586	0,547	0,531	0,663	0,511
P30-K	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,544	0,473	0,481	0,459	0,467	0,428

13. Produksi Kompos

Reaktor	Hari ke-							
	34	38	42	46	50	54	58	60
P10-EE	58,49%	55,74%	64,71%	65,52%	67,50%	69,39%	68,09%	71,79%
P10-LR	57,41%	65,12%	67,21%	69,39%	69,49%	68,18%	71,70%	67,39%
P10-K	56,45%	66,07%	57,14%	60,98%	60,53%	64,86%	70,97%	74,47%
P20-EE	63,89%	60,66%	65,57%	65,38%	70,21%	71,43%	70,73%	71,74%
P20-LR	46,15%	55,36%	61,90%	63,46%	62,50%	62,50%	65,96%	65,45%
P20-K	49,12%	58,46%	52,54%	54,76%	59,46%	61,76%	66,67%	69,81%
P30-EE	55,93%	63,64%	64,58%	69,39%	70,27%	74,47%	79,69%	77,78%
P30-LR	51,67%	65,71%	62,75%	77,55%	72,68%	71,05%	74,55%	72,22%
P30-K	46,94%	48,53%	64,00%	61,36%	67,50%	67,65%	71,93%	83,33%

14. Mass Balance Reaktor P10-EE

C-organik	0,234	100%
TKN	0,0069	100%
N-ammonia	0,00087	100%
N-nitrat	0,00027	100%
Kadar Air	0,434	100%
Volatile Solid	0,592	100%
Rasio C/N	32,690	100%

Pra-Komposting

C-organik	0,213	90,94%
TKN	0,0063	90,59%
N-ammonia	0,00093	105,73%
N-nitrat	0,00016	58,45%
Kadar Air	0,345	79,48%
Volatile Solid	0,492	83,14%
Rasio C/N	33,256	101,73%

C-organik	0,021	9,06%
TKN	0,00065	9,41%
N-ammonia	-0,00005	-5,73%
N-nitrat	0,00011	41,55%
Kadar Air	0,089	20,52%
Volatile Solid	0,100	16,86%
Rasio C/N	-0,566	-1,73%

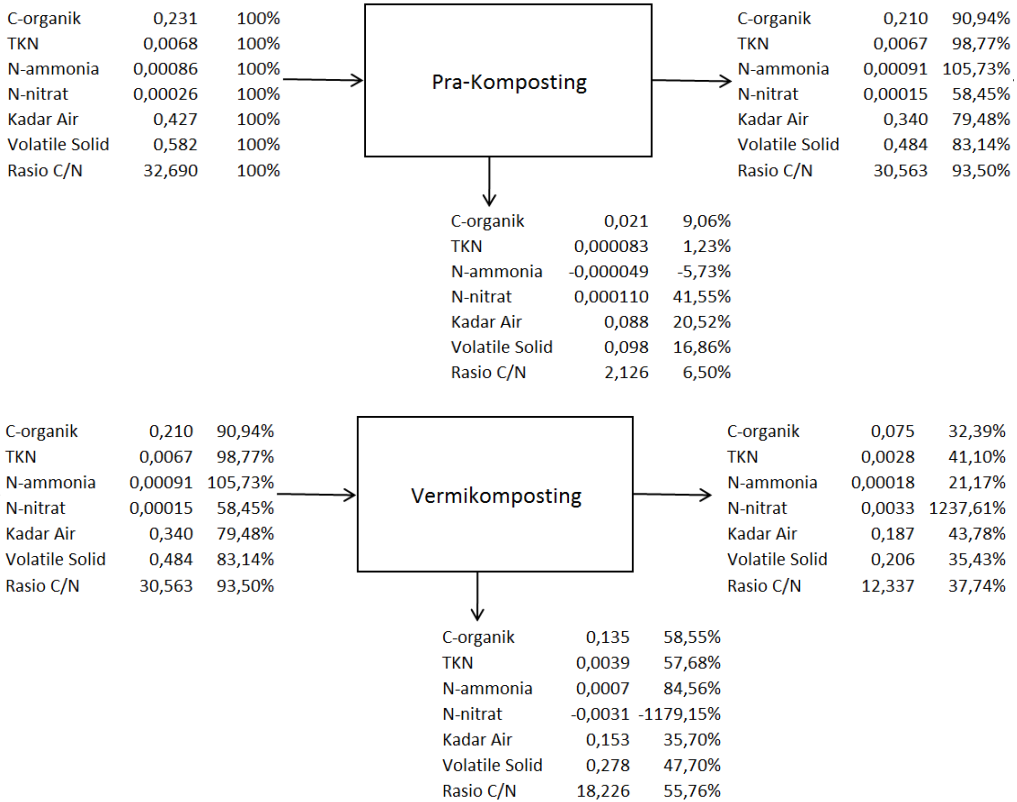
C-organik	0,213	90,94%
TKN	0,0063	90,59%
N-ammonia	0,00093	105,73%
N-nitrat	0,00016	58,45%
Kadar Air	0,345	79,48%
Volatile Solid	0,492	83,14%
Rasio C/N	33,256	101,73%

Vermikomposting

C-organik	0,070	30,06%
TKN	0,0018	25,80%
N-ammonia	0,00022	25,61%
N-nitrat	0,0024	886,34%
Kadar Air	0,181	41,57%
Volatile Solid	0,200	33,79%
Rasio C/N	16,955	51,87%

C-organik	0,143	60,88%
TKN	0,0045	64,79%
N-ammonia	0,0007	80,12%
N-nitrat	-0,0022	-827,89%
Kadar Air	0,165	37,91%
Volatile Solid	0,292	49,35%
Rasio C/N	16,301	49,87%

15. Mass Balance Reaktor P10-LR



16. Mass Balance Reaktor P10-K

C-organik	0,191	100%
TKN	0,0056	100%
N-ammonia	0,00071	100%
N-nitrat	0,00022	100%
Kadar Air	0,354	100%
Volatile Solid	0,482	100%
Rasio C/N	32,690	100%

Pra-Komposting

C-organik	0,174	90,94%
TKN	0,0067	119,31%
N-ammonia	0,00075	105,73%
N-nitrat	0,00013	58,45%
Kadar Air	0,281	79,48%
Volatile Solid	0,401	83,14%
Rasio C/N	32,475	99,34%

C-organik	0,017	9,06%
TKN	-0,00109	-19,31%
N-ammonia	-0,00004	-5,73%
N-nitrat	0,00009	41,55%
Kadar Air	0,073	20,52%
Volatile Solid	0,081	16,86%
Rasio C/N	0,214	0,66%

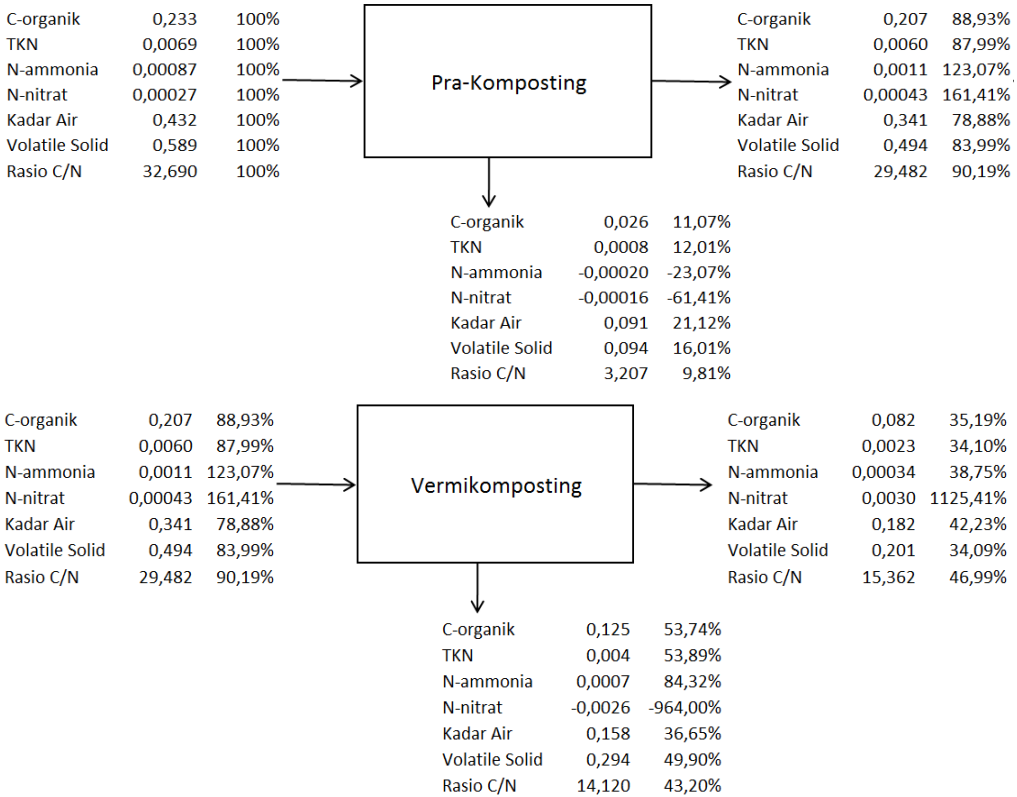
C-organik	0,174	90,94%
TKN	0,0067	119,31%
N-ammonia	0,00075	105,73%
N-nitrat	0,00013	58,45%
Kadar Air	0,281	79,48%
Volatile Solid	0,401	83,14%
Rasio C/N	32,475	99,34%

Vermikomposting

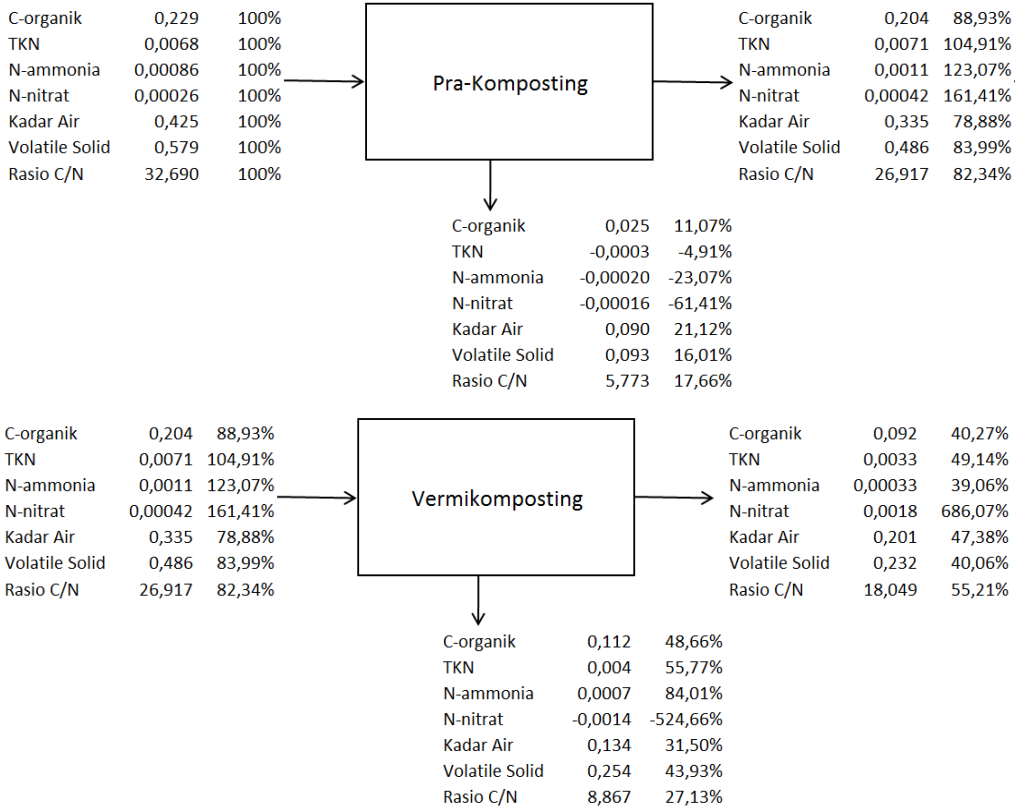
C-organik	0,128	67,02%
TKN	0,0019	34,06%
N-ammonia	0,00039	55,11%
N-nitrat	0,00026	118,95%
Kadar Air	0,182	51,41%
Volatile Solid	0,264	54,70%
Rasio C/N	58,847	180,02%

C-organik	0,046	23,92%
TKN	0,00479	85,26%
N-ammonia	0,00036	50,62%
N-nitrat	-0,00013	-60,50%
Kadar Air	0,099	28,07%
Volatile Solid	0,137	28,44%
Rasio C/N	-26,372	-80,67%

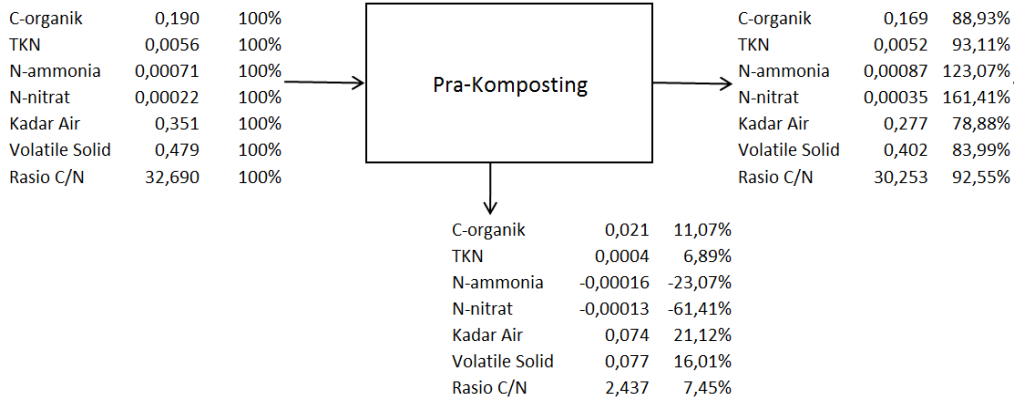
17. Mass Balance Reaktor P20-EE

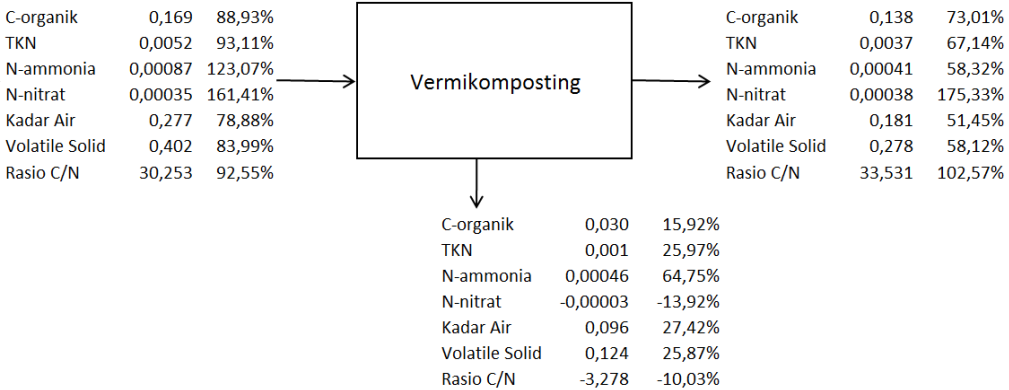


18. Mass Balance Reaktor P20-LR



19. Mass Balance Reaktor P20-K





20. Mass Balance Reaktor P30-EE

C-organik	0,234	100%
TKN	0,0069	100%
N-ammonia	0,00087	100%
N-nitrat	0,00027	100%
Kadar Air	0,434	100%
Volatile Solid	0,592	100%
Rasio C/N	32,690	100%

Pra-Komposting

C-organik	0,182	77,61%
TKN	0,0052	74,87%
N-ammonia	0,00084	95,56%
N-nitrat	0,0011	401,64%
Kadar Air	0,296	68,05%
Volatile Solid	0,457	77,28%
Rasio C/N	29,136	89,13%

C-organik	0,052	22,39%
TKN	0,00173	25,13%
N-ammonia	0,00004	4,44%
N-nitrat	-0,00081	-301,64%
Kadar Air	0,139	31,95%
Volatile Solid	0,134	22,72%
Rasio C/N	3,554	10,87%

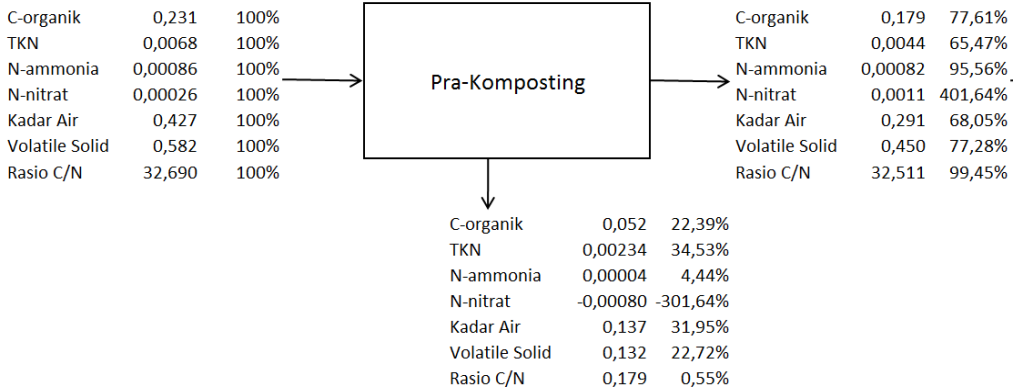
C-organik	0,182	77,61%
TKN	0,0052	74,87%
N-ammonia	0,00084	95,56%
N-nitrat	0,0011	401,64%
Kadar Air	0,296	68,05%
Volatile Solid	0,457	77,28%
Rasio C/N	29,136	89,13%

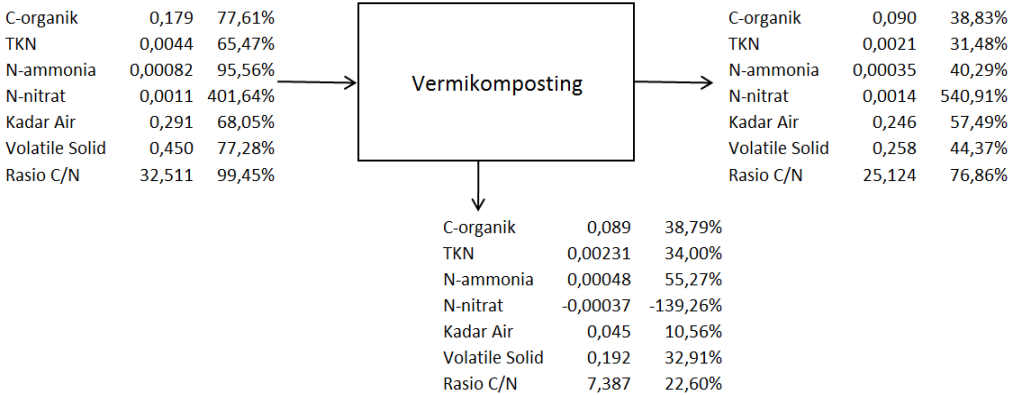
Vermikomposting

C-organik	0,079	33,52%
TKN	0,0028	40,37%
N-ammonia	0,00027	30,29%
N-nitrat	0,0015	553,80%
Kadar Air	0,249	57,36%
Volatile Solid	0,266	44,90%
Rasio C/N	18,399	56,28%

C-organik	0,103	44,09%
TKN	0,00238	34,50%
N-ammonia	0,00057	65,27%
N-nitrat	-0,00041	-152,16%
Kadar Air	0,046	10,68%
Volatile Solid	0,192	32,38%
Rasio C/N	10,737	32,84%

21. Mass Balance Reaktor P30-LR





22. Mass Balance Reaktor P30-K

C-organik	0,191	100%
TKN	0,0056	100%
N-ammonia	0,00071	100%
N-nitrat	0,00022	100%
Kadar Air	0,354	100%
Volatile Solid	0,482	100%
Rasio C/N	32,690	100%

Pra-Komposting

C-organik	0,148	77,61%
TKN	0,0038	68,40%
N-ammonia	0,00068	95,56%
N-nitrat	0,00088	401,64%
Kadar Air	0,241	68,05%
Volatile Solid	0,373	77,28%
Rasio C/N	31,378	95,99%

C-organik	0,043	22,39%
TKN	0,00178	31,60%
N-ammonia	0,00003	4,44%
N-nitrat	-0,00066	-301,64%
Kadar Air	0,113	31,95%
Volatile Solid	0,110	22,72%
Rasio C/N	1,312	4,01%

C-organik	0,148	77,61%
TKN	0,0038	68,40%
N-ammonia	0,00068	95,56%
N-nitrat	0,00088	401,64%
Kadar Air	0,241	68,05%
Volatile Solid	0,373	77,28%
Rasio C/N	31,378	95,99%

Vermikomposting

C-organik	0,105	54,89%
TKN	0,0021	38,21%
N-ammonia	0,00048	66,71%
N-nitrat	0,00012	54,42%
Kadar Air	0,189	53,32%
Volatile Solid	0,211	43,71%
Rasio C/N	46,228	141,41%

C-organik	0,043	22,72%
TKN	0,00170	30,19%
N-ammonia	0,00021	28,85%
N-nitrat	0,00076	347,22%
Kadar Air	0,052	14,73%
Volatile Solid	0,162	33,57%
Rasio C/N	-14,850	-45,43%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS

Penulis lahir pada 27 Agustus 1996 di Surabaya. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2002-2008 di SDN Kutisari II Surabaya. Setelah itu, dilanjutkan di SMPN 6 Surabaya pada tahun 2008-2011 dan SMAN 15 Surabaya pada tahun 2011-2014. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian ITS Surabaya pada tahun 2014 yang terdaftar dengan NRP 03211440000040. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai staf dan bendahara Kesejahteraan Mahasiswa HMTL periode 2015/2016 dan periode 2016/2017. Penulis dapat dihubungi via email agdiaap@gmail.com