



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN ENZIM SELULASE DALAM
DEKOMPOSISI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

SKRIPSI

**HERMAWATI WIDYAPRATAMI
0706275624**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2011**

31/FT.TL01/SKRIP/06/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN ENZIM SELULASE DALAM
DEKOMPOSISI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Lingkungan

**HERMAWATI WIDYAPRATAMI
0706275624**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hermawati Widyapratami

NPM : 0706275624

Tanda Tangan :



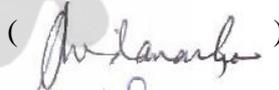
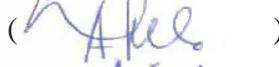
Tanggal : 23 Juni 2011

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hermawati Widyapratami
NPM : 0706275624
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Pemanfaatan Enzim Selulase dalam Dekomposisi
Tandan Kosong Kelapa Sawit

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir Sulistyoweni ()
Pembimbing 2 : Dr.Ir. Achmadin Luthfi, M.Eng ()
Penguji 1 : Dr.Ir. Djoko M. Hartono, SE, M.Eng ()
Penguji 2 : Ir.Gabriel S.B. Andari, M.Eng, Ph.D ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 23 Juni 2011

Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada yang terhormat:

- (1) Ibu Prof. Dr. Ir. Sulistyoweni Widhanarko, selaku dosen pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberi pengarahan, bimbingan, diskusi, dukungan, serta persetujuan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga skripsi ini dapat selesai.
- (2) Bapak Dr. Ir Achmadin Luthfi, M.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberi pengarahan, bimbingan, diskusi, dukungan, serta persetujuan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga skripsi ini dapat selesai.
- (3) Pihak tim peneliti Pengomposan TKKS dengan Enzim LABTIAP 1, BPPT Serpong , Bapak Dr. Ir Siswa Setyahadi, M.Sc, Bapak Deden Waltam. M.T selaku Kepala Laboratorium LABTIAP 1, serta segenap pihak karyawan LABTIAP 1, BPPT Serpong, yang telah membantu penelitian ini agar dapat berjalan dengan baik.
- (4) Orang tua (Bapak M. Sudarmono dan Ibu Indah Purwati), adik (Dhiyani Nindya Pratiwi) dan saudara-saudaraku yang tiada hentinya memberikan dukungan doa baik moral maupun materiil.
- (5) Para dosen pengajar Program Studi Teknik Lingkungan yang telah membimbing selama perkuliahan.
- (6) Teman-teman berbagi suka dan duka semasa kuliah, Dwi Lintang, Amreta Nandini, Pramesti Andiani, Tri Astuti Rhamandani, Vica Yunar, Hana

Maryam, Gloria Patricia, Vanessa Deviani, Nindi Sekarsari, Aisyah, Marsha, Azhar Fuadi, Mahisha, Mario, Armada A, Krisna Sagala, Dapot E, Jevon Radytia, Indra N.F, serta teman-teman Program Studi Teknik Lingkungan dan Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia angkatan 2007 yang tak dapat disebut satu per satu yang telah memberikan semangat dan dukungan yang tak terhingga.

- (7) Teman-teman semasa SMA yang masih memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini, Sandrina Amanda, Rahmi Aulina, dan Loedfiasfiati.
- (8) Pegawai sekretariat Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia
- (9) Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu di masa yang akan datang.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Hermawati Widyapratami
NPM : 0706275624
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Jenis Karya : Skripsi

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

**PEMANFAATAN ENZIM SELULASE DALAM DEKOMPOSISI TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS)**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 23 Juni 2010

Yang Menyatakan



(Hermawati Widyapratami)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Hermawati Widyapratami
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pemanfaatan Enzim Selulase dalam Dekomposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Demi mengurangi timbulan limbah padat dari pabrik kelapa sawit maka dilakukanlah pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai bahan baku pupuk organik. Komponen utama TKKS adalah 45-50% selulosa, 25-35% hemiselulosa dan lignin, sehingga limbah ini disebut sebagai limbah lignoselulosa (Deraman, 1993; Darnoko, 1993). TKKS yang digunakan sebagai bahan baku kompos pada penelitian ini memiliki kandungan C-organik sebesar 56,49%, N-total sebesar 0,34 %, dan rasio C:N sebesar 165,15 : 1.

Metode pengomposan alami membutuhkan waktu yang lama, lahan yang luas, dan bergantung dengan musim. Maka pada penelitian ini dilakukan dekomposisi cara cepat dengan proses hidrolisis enzimatis dan dilanjutkan dengan hidrolisis pada suhu yang lebih tinggi yaitu 100 °C atau 121 °C. Enzim selulase ditambahkan pada proses hidrolisis enzimatis kemudian dilanjutkan dengan hidrolisis pada suhu yang lebih tinggi. Suhu optimum inkubasi proses enzimatis adalah pada suhu 60 °C dan konsentrasi enzim optimum adalah 4% dari berat substrat.

Dekomposisi dalam waktu 4 hari menghasilkan nilai pH berkisar 6-8, kadar air berkisar antara 70-80%, penurunan nilai C-Organik dari nilai bahan sebesar 56,49% menjadi 53-49%, peningkatan nilai N-Total dari nilai bahan sebesar 0,34% menjadi 0,4-0,9%, dan penurunan rasio C:N dari 165:1 untuk bahan menjadi (84-58):1. Karena hasil tersebut belum memenuhi standar SNI 19-7030-2004 tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestik, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan agar kompos TKKS dapat diaplikasikan pada Perkebunan Kelapa Sawit (PKS).

Kata kunci : Dekomposisi, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), Enzim selulase

ABSTRACT

Name : Hermawati Widyapratami
Major : Environmental Engineering
Title : Cellulase Enzyme Utilization of Empty Fruit Bunches (EFB) of Palm Oil Decomposition

For reducing the generation of solid waste from palm oil mill, Empty Fruit Bunches (EFB) of palm oil utilized as a raw material of organic fertilizer. The component of EFB is 45-50% cellulose, 25-35% hemicellulose and lignin, so it called as lignocellulosic waste (Deraman, 1993; Darnoko, 1993). EFB which used as raw material for composting in this study have a C-organic content of 56.49%, N-total of 0.34%, and C: N ratio of 165.15: 1.

Natural composting methods require a long time, large area and depend on the weather. In this research performed decomposition in rapid way with enzymatic hydrolysis process, followed by hydrolysis at a higher temperature of 100°C or 121°C. Cellulase enzyme added to the enzymatic hydrolysis process was followed by hydrolysis at higher temperatures. The optimum incubation temperature of the enzymatic process is at a temperature of 60°C and optimum enzyme concentration was 4% by weight of the substrate.

Decomposition within 4 days, produce a pH range 6-8, the water content ranged between 70-80% decreased of C - Organic material value from 56.49 % to 53-49% , increase in the value of N - total from 0.34% for material value become 0.4-0.9%, and decreased C: N ratio of 165:1 for the material become (84-58): 1. Since these results does not meet the standard specifications SNI 19-7030-2004 about compost from domestic organic waste, it is necessary to further research for EFB decomposition can be applied on Oil Palm Plantation.

Keyword : Decomposition, Empty Fruit Bunch of Palm Oil, Cellulase enzyme

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Perkembangan Industri Kelapa Sawit.....	6
2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit	6
2.3 Proses Pengomposan.....	6
2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengomposan.....	10
2.5 Mempercepat Proses Pengomposan	15
2.6 Enzim.....	17
2.6.1 Faktor –Faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim.....	17

2.6.2	Enzimatik Hidrolisis.....	21
2.7	Standar Kompos menurut SNI.....	22
2.8	Pupuk Kompos TKKS	25
2.9	Hipotesa.....	27
2.10	Parameter Dekomposisi.....	27
BAB 3	METODE PENELITIAN.....	29
3.1	Pendekatan Penelitian.....	29
3.2	Alur Pemanfaatan Limbah	29
3.3	Pengolahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Pupuk Organik	30
3.4	Perlakuan, Variabel, dan Prosedur Dekomposisi	31
3.4.1	Tahap Persiapan	31
3.4.2	Tahap Hidrolisis Enzimatik	32
3.4.2.1	Pengaruh Suhu Inkubasi dalam Hidrolisis Enzimatik.....	32
3.4.2.2	Pengaruh Konsentrasi Enzim dalam Hidrolisis Enzimatik.....	34
3.4.3	Rangkaian Dekomposisi TKKS (Hidrolisis Enzimatik-Hidrolisis Suhu)	36
3.5	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	38
3.6	Analisa Hasil Dekomposisi dan Metode Pengukuran	39
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1	Karakterisasi Bahan.....	40
4.2	Tahap Hidrolisis Enzimatik.....	40
4.2.1	Pengaruh Suhu Inkubasi dalam Proses Hidrolisis Enzimatik	40
4.2.2	Pengaruh Konsentrasi Enzim dalam Proses Hidrolisis Enzimatik.....	42
4.3	Rangkaian Dekomposisi (Hidrolisis Enzimatik dan Hidrolisis Suhu)	44
4.3.1	Perubahan pH dan Kadar Air.....	45
4.3.2	Kandungan C-Organik dan N-total	50

4.3.3 Rasio C:N	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR REFERENSI.....	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengomposan Konvensional	10
Gambar 2.2 Pengaruh dari Konsentrasi Substrat terhadap Laju Reaksi Enzim (Konsentrasi Enzim, Suhu, dan pH Konstan)	18
Gambar 2.3 Efek Konsentrasi Enzim terhadap Laju Reaksi Enzim (Konsentrasi Substrat, Suhu, dan pH Konstan).....	18
Gambar 2.4 Efek Suhu terhadap Laju Reaksi Enzim	19
Gambar 2.5 Efek pH terhadap Laju Reaksi Enzim.....	20
Gambar 3.1 Bagan Alir Pemanfaatan Limbah Industri Kelapa Sawit	29
Gambar 3.2 Pengolahan TKKS Menjadi Pupuk Organik	30
Gambar 4.1 Perbandingan Nilai Rasio C:N dari Setiap Perlakuan Suhu Inkubasi	41
Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Rasio C:N dari Setiap Perlakuan Konsentrasi Enzim	43
Gambar 4.3 Perubahan Nilai pH Selama Waktu Dekomposisi.....	46
Gambar 4.4 Perubahan Nilai Kadar Air Selama Waktu Dekomposisi.....	49
Gambar 4.5 Perubahan Nilai C-Organik Selama Waktu Dekomposisi	51
Gambar 4.6 Perubahan Nilai N-Total Selama Waktu Dekomposisi	55
Gambar 4.7 Perubahan Nilai Rasio C:N Selama Waktu Dekomposisi	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kisaran Nilai Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengomposan.....	14
Tabel 2.2 Kondisi yang Bisa Diterima Dalam Proses Pengomposan.....	15
Tabel 2.3 Spesifikasi Kualitas Kompos dari Sampah Organik menurut SNI	24
Tabel 2.4 Kandungan Nutrisi dalam Kompos TKKS,	25
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	38
Tabel 4.1 Nilai C-organik, N-Total dan Rasio C:N <i>Bahan</i> TKKS	40
Tabel 4.2 Nilai Rasio C:N dari Masing-Masing Perlakuan Suhu	41
Tabel 4.3 Nilai Rasio C:N dari Masing-Masing Perlakuan Konsentrasi Enzim..	43
Tabel 4.4 Nilai pH Selama Waktu Dekomposisi Dilakukan.....	45
Tabel 4.5 Nilai Kadar Air Selama Waktu Dekomposisi Berlangsung	48
Tabel 4.6 Nilai C-Organik Selama Dekomposisi Dilakukan	50
Tabel 4.7 Nilai Nitrogen-Total Selama Dekomposisi Dilakukan.....	53
Tabel 4.8 Nilai Rasio C:N Selama Dekomposisi Dilakukan	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Penetapan Kualitas Fisik Kompos	xiv
Lampiran 2 Penetapan Kualitas Kimia Kompos	xviii
Lampiran 3 Hasil Pengukuran Kualitas Fisik dan Kimia Sampel	xxiii
Lampiran 4 Gambar-Gambar Prosedur Pembuatan Kompos.....	xxv



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Indonesia merupakan negara agraris yang artinya sektor pertanian merupakan salah satu sektor utama yang menghasilkan devisa negara. Indonesia pula termasuk salah satu negara eksportir minyak sawit. Negara tujuan utama ekspor minyak sawit Indonesia adalah Eropa Barat, India, Pakistan, Cina, dan Jepang. Produk yang diekspor adalah minyak olahan tahap awal seperti RBD *palm oil*, *Crude Palm Oil* (CPO) dan beberapa produk oleokimia. Secara umum, ekspor minyak sawit Indonesia pada 1980-2005 meningkat 12,9%/tahun (Bambang Sudrajat, 2007).

Seiring perkembangan, produksi kelapa sawit di Indonesia semakin meningkat terlihat dari data menurut Direktorat Jendral Perkebunan (2010), bahwa luas areal perkebunan kelapa sawit tahun 1968 seluas 105.808 ha dengan produksi 167.669 ton, pada tahun 2008 telah meningkat menjadi 7,3 juta ha dengan produksi 17,5 juta ton *Crude Palm Oil* (CPO) dan tahun 2010 diperkirakan akan mencapai 7,9 juta dengan produksi 19,8 ton . Sejalan dengan meningkatnya produksi kelapa sawit maka meningkat pula limbah padat maupun limbah cair baik berasal dari perkebunan maupun pabrik kelapa sawit dalam jumlah besar yang belum diolah secara optimal.

Limbah dan emisi merupakan hasil yang tak diinginkan dari kegiatan industri. Sebagian besar industri masih berkuat pada pola pendekatan yang tertuju pada aspek limbah. Begitu pula dengan industri minyak kelapa sawit, salah satu limbah padat atau biomassa yang dihasilkan setelah pemrosesan buah segar kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).

Sedangkan menurut Undang Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pemanfaatan sumber daya alam dilakukan berdasarkan Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (RPPLH) dan mengenai pengendalian pencemaran dan atau/ kerusakan lingkungan hidup dilaksanakan dalam rangka pelestarian fungsi lingkungan hidup. Maka diperlukannya tindakan pengendalian pencemaran agar pemanfaatan

sumber daya alam tetap sejalan dengan pelestarian lingkungan hidup, salah satunya adalah dengan konsep produksi bersih. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2003), Produksi bersih merupakan strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan diterapkan secara terus-menerus pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang berkaitan dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, sehingga dapat meminimalisasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan.

Konsep pencegahan pencemaran yang dapat diaplikasikan pada industri kelapa sawit adalah dengan memanfaatkan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai bahan baku pupuk organik. Di sisi lain, meningkatnya harga pupuk kimia di pasaran menjadi salah satu masalah di industri kelapa sawit. Maka pemanfaatan TKKS ditujukan untuk mengurangi timbulan limbah padat sekaligus mengatasi masalah kebutuhan pupuk.

1.2 Rumusan Masalah

Proses pengomposan secara konvensional atau alami membutuhkan waktu yang relatif lama yaitu sekitar beberapa minggu hingga 2 tahun hingga kompos benar-benar matang dan membutuhkan lahan yang sangat luas. Kondisi lingkungan/cuaca pula sangat mempengaruhi kecepatan pematangan kompos (Isroi, 2005). Oleh karena itu akan sangat tidak ekonomis dan efisien apabila diperhitungkan pemanfaatan lahan yang besar tersebut untuk penanaman kelapa sawit itu sendiri.

Untuk meminimalkan kelemahan-kelemahan pada pengomposan konvensional tersebut maka dilakukanlah penelitian bagaimana mempercepat terjadinya dekomposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan penambahan enzim dan proses dekomposisi cepat dengan hidrolisis enzimatik dan hidrolisis suhu yang dapat meminimisasi penggunaan lahan untuk tumpukan kompos.

Komponen utama TKKS adalah 45-50% selulosa, 25-35% hemiselulosa dan lignin (Deraman, 1993) sehingga limbah ini disebut sebagai limbah lignoselulosa (Darnoko, 1993). Maka enzim yang akan digunakan adalah enzim yang sekiranya

dapat memecah komponen tersebut yaitu enzim selulase yang didapat dari pihak Laboratorium BioIndustri BPPT, Serpong.

Perkembangan teknologi telah menemukan bahwa enzim dapat digunakan dalam proses mempercepat dekomposisi substrat. Penelitian yang melakukan penambahan enzim pada dekomposisi material organik baru dilakukan oleh Jordan dan Mullen (2010) yang melakukan dekomposisi material organik dengan banyak jenis enzim. Namun penelitian dan kajian akan pengaruh penggunaan satu jenis enzim dalam dekomposisi materi organik belum dipelajari sebelumnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Apakah terdapat pengaruh penambahan enzim aktif dalam proses dekomposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan hidrolisis enzimatik dan hidrolisis suhu.
- Apakah dekomposisi dengan menggunakan penambahan enzim aktif ini dapat membuat proses dekomposisi lebih cepat daripada proses pengomposan konvensional.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Memanfaatkan limbah TKKS dengan cara dijadikan bahan baku pupuk organik
- Mengetahui pengaruh suhu inkubasi dalam dekomposisi TKKS
- Mengetahui pengaruh konsentrasi enzim dalam dekomposisi TKKS
- Mengetahui pengaruh penambahan enzim terhadap dekomposisi TKKS dengan proses hidrolisis enzimatik dan hidrolisis suhu.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian awal dari proses dekomposisi TKKS dengan penambahan enzim. Proses dekomposisi yang dilakukan adalah dengan menambahkan enzim selulase dengan konsentrasi tertentu dan menghidrolisis enzimatik pada suhu inkubasi tertentu yang dilanjutkan dengan hidrolisis pada suhu yang lebih tinggi.

Pada penelitian enzim selulase diperoleh dari pihak Laboratorium Bioindustri (LABTIAP 1), BPPT Serpong, dan penelitian pula dilakukan di laboratorium Bioindustri (LABTIAP 1), BPPT Serpong. Pengukuran kualitas fisik dan kimia kompos dilakukan oleh pihak LABTIAP 2, BPPT Serpong.

1.5 Manfaat Penelitian

Mengacu pada tujuan penelitian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, seperti :

1. Penelitian ini dapat memberikan solusi alternatif dalam mengurangi timbulan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), serta mengatasi masalah kebutuhan pupuk organik di Indonesia.
2. Dapat menjadi masukan untuk Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang hendak mengolah limbah TKKS yang dihasilkan oleh PKS itu sendiri.

1.6 Metode Penelitian

Dalam pembuatan skripsi ini, digunakan metode sebagai berikut :

1. Studi literatur atau studi kepustakaan dengan menggunakan buku, jurnal, skripsi sebelumnya, akses internet, dan sumber ilmiah lainnya yang berhubungan dengan metode pengomposan, kualitas kompos, dan lainnya sebagai landasan teori pembuatan skripsi.
2. Melakukan dekomposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) di laboratorium dan memeriksa hasilnya untuk mendapatkan data kualitas kompos dari masing-masing perlakuan.

Melakukan analisis terhadap data yang diperoleh dari pemeriksaan laboratorium kemudian dibandingkan dengan literatur yang ada.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB 2 : STUDI LITERATUR

Pada bab ini dijelaskan teori-teori yang menjadi dasar analisis dan pembahasan. Teori-teori yang menjadi dasar antara lain metode pengomposan, kualitas kompos, penelitian parameter kualitas kompos, dan teori lainnya yang dapat mendukung analisis dan pembahasan masalah.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai kerangka penelitian, jadwal penelitian, sampel dan variabel penelitian, dan proses dekomposisi TKKS yang akan dilakukan.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan pengolahan data dari hasil pemeriksaan laboratorium, dan memberikan analisa data pada setiap kajian dengan membandingkan data dari setiap perlakuan. Kemudian membahas dengan studi literatur yang ada.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai kesimpulan yang diambil dari analisa, studi literatur dan tujuan penelitian, serta saran yang terkait dengan penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkembangan Industri Kelapa Sawit

Perkembangan areal penanaman kelapa sawit sangat pesat, dan diperkirakan luas areal perkebunan sawit pada tahun 2006 mencapai lebih dari enam juta ha (Witjaksana, 2006). Semakin luasnya perkebunan kelapa sawit akan diikuti dengan peningkatan produksi dan jumlah limbah kelapa sawit. Kontributor utama biomassa dalam industri kelapa sawit meliputi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), *Palm Oil Mill Effluent* (POME), *Mesocarp fiber*, *Palm kernel shells*, *Palm kernel cake (residue)* (Oviasogie *et al.*, 2010).

Sebuah pabrik kelapa sawit dapat mengolah tandan buah segar rata-rata sekitar 100 metrik ton (mt) setiap harinya, dimana terjadi ekstraksi minyak yang menghasilkan limbah padat dalam bentuk TKKS sebanyak 20% dari buah tandan segar dan limbah cair (Oviasogie *et al.*, 2010). Selain menambah nilai ekonomi, pemanfaatan padatan tersebut juga berguna dalam mengatasi problem lingkungan.

2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) adalah biomassa kelapa sawit yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik. Komponen utama Tandang Kosong Kelapa Sawit adalah 45-50% selulosa, 25-35% hemiselulosa dan lignin (Deraman, 1993), sehingga limbah ini disebut sebagai limbah lignoselulosa (Darnoko *et al.*, 1993).

2.3 Proses Pengomposan

Pengomposan merupakan dekomposisi biologi dan stabilisasi bahan organik pada kondisi suhu tinggi dan lembab dengan produk akhir yang cukup stabil untuk disimpan atau diaplikasikan ke tanah (Haug, 1980). Proses pengomposan umumnya melibatkan beberapa kelompok organisme baik mikroflora (bakteri, kapang dan *actinomycetes*), mikrofauna (*protozoa*), makroflora (jamur tingkat tinggi) dan makrofauna (cacing tanah, rayap, semut). Pada proses pengomposan,

organisme tersebut bisa berasal dari bahan baku, lingkungan atau sengaja ditambahkan (Isroi, 2005).

Menurut Sutanto (2002) proses pengomposan dibagi ke dalam tiga tahap. Tahapan awal dimana dekomposisi intensif berlangsung dihasilkan suhu yang cukup tinggi dalam waktu yang relatif pendek dan bahan organik yang mudah terdekomposisi akan diubah menjadi senyawa lain. Pada tahap pematangan dan pasca pematangan, bahan yang sukar didekomposisi akan terdekomposisi, dan terurai. Menurut Sutanto (2002) pula, dari proses pengomposan ini akan dihasilkan produk kompos yang matang dengan ciri: tidak berbau, remah, berwarna kehitaman, mengandung hara yang tersedia bagi tanaman dan kemampuan mengikat air yang tinggi. Pada tahap awal proses dekomposisi akan terjadi proses dekomposisi yang kurang baik diakibatkan oleh kelembaban yang tidak sesuai dan atau campuran bahan campuran kompos yang tidak sesuai.

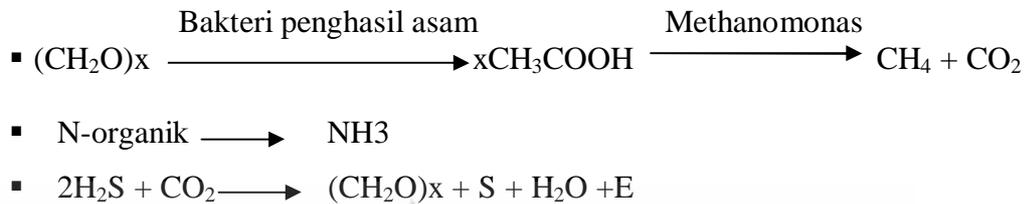
Pengomposan dapat dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi aerobik dan anaerobik. Pengomposan aerobik merupakan dekomposisi bahan organik dengan adanya oksigen (udara) yang menghasilkan produk utama dari metabolisme biologi secara aerobik yaitu karbondioksida, air, dan panas. Pengomposan anaerobik merupakan dekomposisi bahan organik dalam kondisi ketidakhadiran oksigen bebas; produk akhir metabolisme anaerobik adalah metana, karbondioksida, dan senyawa intermediate seperti asam-asam organik dengan berat molekul rendah (Haug, 1980). Proses penguraian bahan organik secara utuh adalah sebagai berikut (Pace *et al.*, 1995) :



Reaksi yang terjadi pada perombakan sistem aerobik (Haug, 1980) :

- Gula $(\text{CH}_2\text{O})_x + \text{O}_2 \longrightarrow x\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{E}$
(selulosa, hemiselulosa)
- N-organik (protein) $\longrightarrow \text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NO}_3^- + \text{E}$
- Sulfur organik (S) $+ x\text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_4^{-2} + \text{E}$
- Fosfor organik $\longrightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 \longrightarrow \text{Ca}(\text{HPO}_4)$
(fistin, lesitin)

Reaksi yang terjadi pada perombakan sistem anaerobik (Haug, 1980) :



Sedangkan menurut *Ministry of Agriculture and Food British Columbia* (1998), proses pengomposan dibagi menjadi beberapa tahap sebagai berikut :

- **Tahap Awal (*Initial stage*)**

Pada tahap ini merupakan proses pengangkutan dan manipulasi bahan baku kompos yaitu bahan organik untuk tambahan sumber nutrisi bagi mikroorganisme, yang semuanya dapat berkontribusi terhadap mulainya proses pengomposan.

Dekomposisi awal didominasi oleh bakteri mesofilik karena ketersediaan bahan organik yang mudah digunakan memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme dengan cepat (Donahue *et al.*, 1990 dalam Oviastogie *et al.*, 2010). Bakteri tersebut kemudian memecah sejumlah bahan organik dan melepaskan panas yang mengakibatkan suhu dalam tumpukan kompos meningkat hingga di atas ambang 41°C termofilik (Francou *et al.*, 2005).

- **Tahap Aktif (*Active stage*)**

Pada tahap ini kompos mencapai suhu yang lebih tinggi, dan bakteri termofilik mulai mendominasi. Tahap aktif biasanya adalah tahap di mana sebagian besar bahan organik diubah menjadi karbon dioksida dan humus, dan populasi mikroorganisme tumbuh. Populasi termofilik terus menghasilkan panas lebih banyak dengan menguraikan bahan organik yang tersisa. Dalam tumpukan kompos yang berventilasi, suhu akan dipertahankan antara sekitar 55 dan 68°C.

Suhu tinggi akan memastikan pengolahan bahan organik cepat sekaligus memberikan kondisi yang optimal untuk menghancurkan kuman patogen terhadap manusia maupun tanaman, serta bibit gulma (Brady dan Weil, 2002).

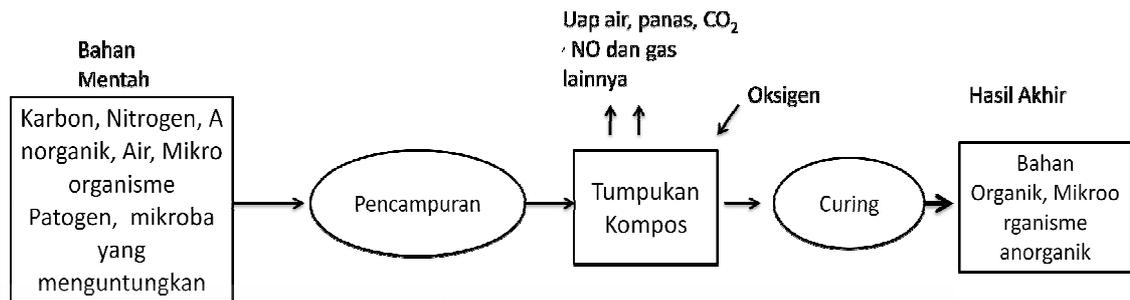
- **Kelebihan Panas (*Over heating*)**

Bila tumpukan mengalami kelebihan panas melebihi sekitar 77°C, kebanyakan mikroba akan hancur dan aktivitasnya akan berhenti. Mikroorganisme pembentuk spora akan mampu bertahan sebagai spora di suhu tinggi. Spora ini adalah struktur berdinding tebal yang dibentuk oleh mikroorganisme di bawah tekanan seperti panas, dingin, kekeringan, dan kondisi gizi rendah. Setelah tahap kelebihan panas (*over heating*) tumpukan kompos akan kembali ke kondisi mesofilik. Kebutuhan akan kegiatan mikroorganisme mesofilik untuk mengembalikan kondisi tumpukan kompos ke kondisi termofilik (Insam *et al.*, 2004).

- **Tahap Curing (*Curing stage*)**

Tahap akhir dari pengomposan adalah *curing phase* ketika kompos belum matang yang kemudian dikonversi menjadi kompos yang matang (Ingham, 1999). Tumpukan kompos yang benar berfungsi akan mengubah diri dari mayoritas substrat organik yang mudah terdegradasi meninggalkan beberapa selulosa, terutama lignin dan material *humic*. Bakteri umumnya dianggap kurang mahir dalam metabolisme senyawa yang tersisa ini. Akibatnya, populasi bakteri akan menurun dalam jumlah yang dibandingkan dengan jamur dan actinomycetes. Karena lebih sedikit panas yang dihasilkan pada titik ini, suhu tumpukan kompos perlahan akan jatuh ke suhu mesofilik. Dengan kembalinya ke kondisi mesofilik, tahap akhir pengomposan dimulai (Rynk, 1992).

Berikut ini gambar diagram alir tahap pengomposan menurut *Ministry of Agriculture and Food. London, 1998* :



Gambar 2.1 Proses Pengomposan Konvensional

Sumber : *Ministry of Agriculture and Food British Columbia (1998)*

2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengomposan

Menurut *Ministry of Agriculture and Food, British Columbia (1996)*, semua bahan organik alami pada akhirnya akan terurai. Dalam kondisi alami, proses pembusukan dapat membutuhkan waktu yang panjang selama periode bulan atau bahkan bertahun-tahun tergantung pada kondisi iklim. Namun, proses alami ini dapat dipercepat dengan mengontrol faktor yang mempengaruhi proses pembusukan. Masing-masing faktor memiliki potensi secara signifikan untuk mempengaruhi proses pengomposan. Faktor-faktor penting yang mempengaruhi proses pengomposan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Rasio C/N

Senyawa Karbon (C) dan nitrogen (N) merupakan komponen yang paling mungkin dapat digunakan untuk membatasi proses pengomposan, baik itu ada secara berlebihan maupun jumlahnya mencukupi, atau ketika rasio C:N tidak tepat. Mikroorganisme dalam kompos mengoksidasi karbon sebagai sumber energi, dan menggunakan nitrogen untuk sintesis protein. Proporsi perkiraan dua elemen ini harus 30 bagian untuk karbon dan 1 bagian untuk nitrogen menurut beratnya. Untuk menghasilkan proses dekomposisi yang efisien maka sebaiknya C: N rasio dalam rentang dari 25:1 ke 40:1. Jika diberikan kondisi stabil pada rasio C:N sebesar 30:1, mikroorganisme dapat mendekomposisi senyawa organik dengan cepat (*Ministry of Agriculture and Food British Columbia, 1996*).

Sedangkan menurut (Isroi, 2005), rasio C:N yang paling efektif untuk proses pengomposan adalah 30:1 hingga 40:1. Menurut (Robert, 2007) proses pengomposan akan bekerja paling efektif jika material yang akan dikomposkan harus memiliki rasio karbon nitrogen 30: 1.

Jika rasio C: N tumpukan terlalu besar (karbon tinggi, nitrogen rendah), kompos akan terdekomposisi lambat karena jumlah nitrogen yang tersedia terlalu rendah untuk sintesis protein yang tepat, dan reproduksi organisme pembusukan terhambat.. Sebaliknya Jika C: N ratio terlalu kecil (nitrogen terlalu banyak, terlalu karbon sedikit), terlalu cepat reproduksi mikroorganisme dapat menyebabkan penurunan oksigen yang cepat dan akhirnya, kondisi anaerobik terjadi. Jika terdapat karbon yang cukup untuk pemrosesan mikroba, kelebihan nitrogen bisa hilang untuk pencucian atau penguapan (Paul *et al.*, 2002)

2. Ukuran partikel

Proses pengomposan akan lebih cepat apabila bahan baku kompos tersebut berukuran kecil. Oleh karena itu dibutuhkan pencacahan atau penggilingan terlebih dahulu untuk bahan yang berukuran besar agar ukurannya menjadi lebih kecil. Walaupun bahan yang berukuran kecil akan cepat terdekomposisi karena luas permukaan meningkat dan mempermudah aktivitas mikroorganisme perombak, namun ukuran yang terlalu kecil akan menyebabkan rongga udara berkurang yang kemudian timbunan menjadi lebih rapat dan pasokan oksigen ke dalam timbunan berkurang sehingga mikroorganisme yang bekerja di dalamnya tidak dapat bekerja secara optimal (Djuarnani *et al.*, 2005). Menurut Robert (2007), ukuran paling baik untuk material yang akan dikompos adalah ukuran 0,5 – 1,5 inch.

3. Aerasi

Karena pengomposan merupakan sebuah proses oksidasi biologi, maka ketersediaan oksigen selama proses pengomposan merupakan hal yang penting. Oksigen digunakan oleh mikroorganisme untuk respirasi aerobik dan juga oksidasi dari berbagai jenis senyawa organik. Fungsi dari aerasi

terhadap substrat yaitu sebagai penyedia kebutuhan oksigen (O_2). Kandungan oksigen dalam sirkulasi udara setidaknya di atas 18%. Karena nilai tersebut harus dijaga konstan, maka aerasi secara periodik harus dijaga (Bertoldi *et al.*, 1983).

4. Porositas

Porositas akan mengacu pada ruang (rongga) di antara partikel di dalam tumpukan kompos. Rongga-rongga ini akan diisi oleh udara, apabila material tersebut tidak jenuh air. Udara akan memasok kebutuhan Oksigen untuk proses pengomposan. Apabila rongga dijenuhi oleh air, maka pasokan oksigen akan berkurang dan proses pengomposan juga akan terganggu. Hal yang dapat mengurangi porositas adalah dengan memadatkan kompos tersebut, dan pencacahan berlebihan yang akan menghambat sirkulasi udara dengan menciptakan partikel kecil dan pori-pori. Penurunan porositas akan menghambat proses aerasi (Ministry of Agriculture and Food British Columbia, 1996).

5. Kandungan air atau Kelembaban (*Moisture Content*)

Proses pengomposan akan bekerja maksimal jika kandungan kelembaban bahan dalam tumpukan sekitar 50% (Robert, 2007). Terlalu banyak air akan membuat kelembaban terlalu basah, dan dekomposisi akan berjalan lambat serta timbul bau. Jika bahan organik yang dikompos terlalu kering, dekomposisi akan sangat lambat atau proses dekomposisi tidak merata (Robert, 2007).

Menurut Sutanto (2002) karena mikroorganisme hanya dapat menyerap makanan dalam bentuk larutan, maka kelembaban yang sesuai diperlukan selama proses dekomposisi berlangsung. Kelembaban paling sedikit 25%-30% berat kering bahan. Dibawah kadar air 20% proses dekomposisi berhenti. Kelembaban bervariasi antara 30%-75%. Kandungan air yang optimum paling sedikit 50%-60%. Jumlah air maksimum yang diperbolehkan tergantung pada air yang dikandung bahan dasar dan besarnya air yang dapat diserap tanpa menyebabkan terjadinya perubahan

struktur. Kadar air berpengaruh untuk menjamin proses dekomposisi secara biologis, menjamin pencampuran dan ketersediaan nutrisi melarutkan faktor-faktor penghambat pertumbuhan dan metabolisme, menstimulasi pertumbuhan bakteri dan menjaga temperatur tetap konstan (Diaz, 2007).

6. Suhu

Panas atau suhu merupakan hal yang sangat penting dalam pengomposan yang cepat (*rapid composting*) (Robert, 2007). Panas dihasilkan dari respirasi mikroorganisme pada saat mereka memecah bahan organik (Robert, 2007). Temperatur yang berkisar antara 32°C - 60°C mengindikasikan terjadinya pengomposan yang cepat (*rapid composting*). Liang *et al.* (2003) menambahkan bahwa pada suhu pengomposan 60°C memperlihatkan berkurangnya aktivitas mikroorganisme, tetapi pada suhu ini aktivitas mikroorganisme termofilik bersifat optimum.

7. pH (Derajat Keasaman)

Bertoldi *et al.* (1983) menyarankan bahwa pH optimum dalam pengomposan berkisar antara 5,5 dan 8,0 dikarenakan pH merupakan salah satu karakteristik penting dari proses pengomposan. Selama pengomposan terjadi mineralisasi nitrogen organik menjadi nitrogen ammonia yang menyebabkan nilai pH meningkat, Sedangkan penurunan pH disebabkan oleh produksi asam-asam organik yang meningkat atau proses nitrifikasi. Selain itu, perubahan nilai pH juga dipengaruhi oleh pertukaran ion ammonium. pH kompos yang sudah matang biasanya mendekati netral (Isroi, 2005).

8. Kandungan Nutrisi

Unsur makro yang dibutuhkan dalam jumlah banyak terdiri dari unsur nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), sulfur (S), kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg). Dari keenam unsur tersebut yang paling penting untuk tanaman adalah N,P,K karena (Primantoro, 2007) :

1. N diperlukan tanaman untuk merangsang pertumbuhan tanaman, terutama batang, cabang, dan daun. Selain itu, unsur ini juga berguna dalam pertumbuhan hijau daun (klorofil), protein, lemak, dan senyawa organik lainnya.
2. P diperlukan tanaman untuk merangsang akar, khususnya akar benih dan tanaman muda. Fosfor juga dapat mempercepat pembungaan serta pemasakan biji dan buah.
3. Kalium diperlukan tanaman untuk memperkuat tubuh tanaman agar tanaman tidak mudah roboh serta bunga dan buah tidak mudah gugur

9. Kandungan Senyawa Toksik

Beberapa bahan organik mungkin mengandung bahan-bahan yang berbahaya bagi kehidupan mikroba. Logam-logam berat seperti Mg, Cu, Zn, Nickel, Cr adalah beberapa bahan yang termasuk kategori ini. Logam-logam berat akan mengalami imobilisasi selama proses .

Menurut Alexander (1994) menyatakan pula faktor yang mempengaruhi proses pengomposan dan kisaran yang dapat diterima dalam proses pengomposan seperti digambarkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Kisaran Nilai Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengomposan

Faktor	Kisaran yang dapat Diterima
Suhu	54-60 °C
Rasio C/N	25:1 – 30:1
Persen Oksigen (Aerasi)	>5%
Moisture content	50-60%
Porositas	30-36
pH	6,5-7,5

Sumber : Alexander (1994)

Sedangkan menurut Rynk (1992) menggambarkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengomposan dengan menggambarkan kondisi yang bisa diterima dan kondisi ideal pada tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Kondisi yang Bisa Diterima Dalam Proses Pengomposan

Faktor	Kondisi yang bisa diterima	Ideal
Rasio C:N	20:1 – 40:1	25-35 :1
Kelembaban	40-65%	45-62 % berat
Konsentrasi Oksigen yang tersedia	>5%	>10%
Ukuran Partikel	1 inch	Bervariasi
<i>Bulk Density</i>	1000lbs/cu yd	1000 lbs/cu yd
pH	5,5-9,0	6,5-8,0
Suhu	43-66°C	54-60°C

Sumber : Rynk (1992)

2.5 Mempercepat Proses Pengomposan

Menurut Sutanto (2002) usaha mempercepat proses pengomposan dapat dilakukan dengan beberapa cara berikut :

a. Menambahkan aktivator proses pengomposan

Setiap bahan yang berfungsi meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam proses dekomposisi disebut bahan aktivator.

b. Aktivator Nitrogen

Nitrogen merupakan unsur yang penting dalam meningkatkan aktivitas mikrobial dalam kompos yang berhubungan dengan rasio C:N bahan yang akan didekomposisi. Untuk mempercepat proses dekomposisi bahan-bahan yang mempunyai kandungan nitrogen rendah seperti Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) itu sendiri, diperlukan penambahan nitrogen.

c. Isolasi Organisme untuk Biodegradasi Residu Tanaman

Sedang menurut Isroi (2005), pengomposan dapat dipercepat dengan beberapa strategi yang dikelompokkan menjadi dua, yaitu : memanipulasi kondisi/faktor-faktor yang berpengaruh pada proses pengomposan; menambahkan organisme yang dapat mempercepat proses pengomposan, seperti mikroba pendegradasi bahan organik dan vermikompos (cacing). Salah satu upaya mempercepat waktu pengomposan lainnya adalah dengan menambahkan aktivator

untuk mempercepat proses degradasi bahan organik (Sriharti dan Takiyah Salim, 2006).

Komposting merupakan proses kompleks dimana berhubungan dengan fermentasi, yang banyak tergantung pada material dan kondisi proses awal. Enzim digunakan dalam komposting sebagai *processing aids*, seringnya dikombinasikan dengan kultur mikrobial. Mikroorganisme merupakan sumber mayor dari enzim dalam komposting, tetapi menambahkan enzim secara eksternal seperti hidrolase dapat membantu mikroorganisme, khususnya dalam fase adaptasi atau lag phase. Walaupun enzim sering digunakan dalam pengomposan, namun peran mereka dalam proses belum diinvestigasi dalam detail yang baik (Aehle, Wolfgang, 2007).

Mikroorganisme merombak bahan tanaman dengan menggunakan enzim. Enzim merupakan molekul protein kompleks dan berfungsi mempercepat reaksi kimia tanpa harus melibatkan diri dalam reaksi tersebut. Pada proses pengomposan, mikroorganisme mengeluarkan enzim yang dapat merombak bahan yang ada menjadi bahan makanan bagi mikroorganisme tersebut. Contohnya saja, mikroorganisme mengeluarkan enzim selulase dengan mengubah selulosa menjadi glukosa. Glukosa yang akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme dan menghasilkan karbondioksida (Djuarnani *et al.*, 2005).

Sedang menurut Saraswati *et al.* (2006) mikroorganisme tidak dapat langsung mendegradasi bahan organik yang tidak larut dalam tumpukan kompos. Maka mikroorganisme menghasilkan enzim terlebih dahulu untuk mendegradasi senyawa berukuran besar menjadi lebih sederhana dan larut dalam air (substrat bagi mikroba). Bahan organik yang larut dan lebih sederhana tersebut barulah digunakan mikroba untuk mendekomposisi bahan organik. Aktivitas enzim selulase sendiri menurunkan jumlah selulosa sekitar 25% selama sekitar 3 minggu. Sedangkan aktivitas enzim lainnya meningkat dan menurun terutama dalam tahapan termofilik. Dari hal tersebut tampak pentingnya proses mikrobial dalam proses pengomposan dan pentingnya pengaturan berbagai faktor yang mempengaruhi keterlibatan mikroba dalam proses mempercepat pengomposan. Faktor pembatas dalam proses pengomposan antara lain, ketidakcocokan substrat, kelembaban atau suhu kompos di luar rata-rata, dan masalah difusi oksigen ke dalam tumpukan kompos (Saraswati *et al.*, 2006).

2.6 Enzim

Suatu enzim merupakan suatu katalis biologi. Dewasa ini, enzim yang sesuai, ditambah dengan kondisi reaksi yang tidak menyebabkan denaturasi, cukup untuk reaksi enzimatik. Enzim diduga menyesuaikan diri di sekitar substrat (molekul yang akan didegradasi) untuk membentuk suatu ikatan kompleks enzim-substrat. Ikatan-ikatan substrat dapat menjadi tegang karena gaya tarik antar substrat dan enzim. Ikatan yang tegang tersebut memiliki energi yang tinggi dan lebih mudah mudah terpatahkan, oleh karena itu reaksi yang diinginkan berlangsung lebih mudah dan menghasilkan suatu ikatan kompleks enzim-produk (Fessenden dan Fessenden, 1986) .

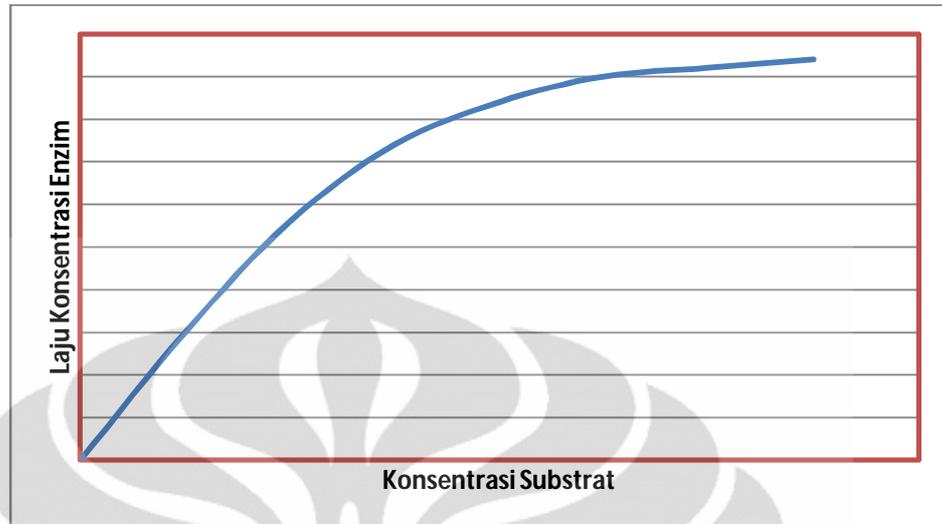
Enzim yang digunakan dalam penelitian ini adalah enzim selulase. Selulase merupakan suatu kompleks multienzim yang bekerja bersama-sama menghidrolisis selulosa menjadi glukosa. Menurut Richana (2002) pula, enzim selulase yang dapat merombak bahan berlignoselulosa berupa jerami atau sampah organik menjadi kompos, atau menghidrolisis selulosa menjadi glukosa.

2.6.1 Faktor –Faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim

Aktivitas enzim merupakan pengukuran laju reaksi dimana enzim mengkonversi substrat menjadi produk tertentu (Stoker, 2010). Aktivitas enzim merupakan penentuan seberapa banyak laju reaksi ditingkatkan. Berikut ini faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim:

a. Konsentrasi enzim dan konsentrasi substrat

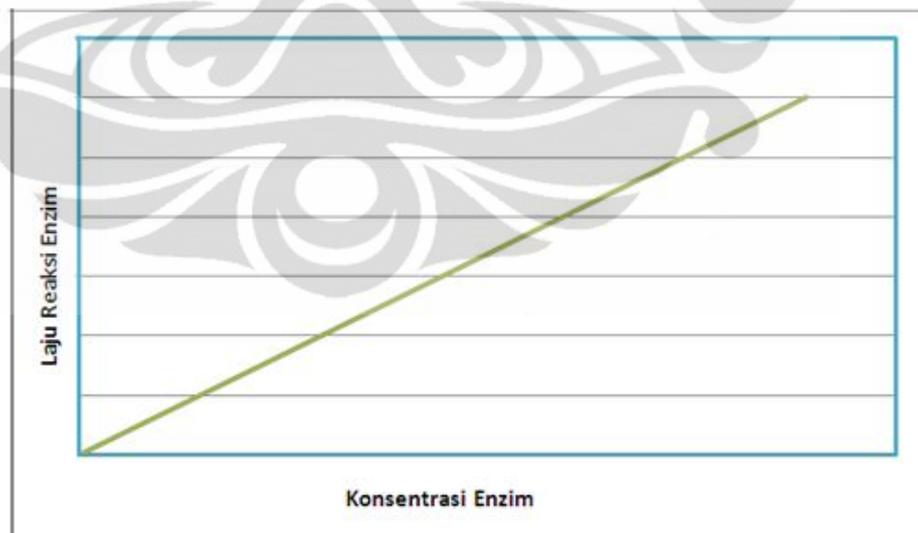
Secara eksperimental telah ditunjukkan bahwa apabila dalam jumlah enzim yang konstan kemudian konsentrasi substrat ditingkatkan, maka kecepatan reaksi akan meningkat hingga mencapai maksimum. Setelah titik maksimum dari konsentrasi substrat kecepatan reaksi tidak akan meningkat kembali. Hal ini terjadi karena pada titik jenuh, molekul substrat terikat untuk semua situs aktif yang tersedia dari enzim (J.Whitehurst dan van Oort, 2010).



Gambar 2.2 Pengaruh dari Konsentrasi Substrat terhadap Laju Reaksi Enzim (Konsentrasi Enzim, Suhu, dan pH Konstan)

Sumber : J.Whitehurst dan van Oort (2010)

Jika kita menjaga konsentrasi substrat konstan dan meningkatkan konsentrasi enzim, laju meningkat secara linear seperti digambarkan oleh grafik berikut ini :



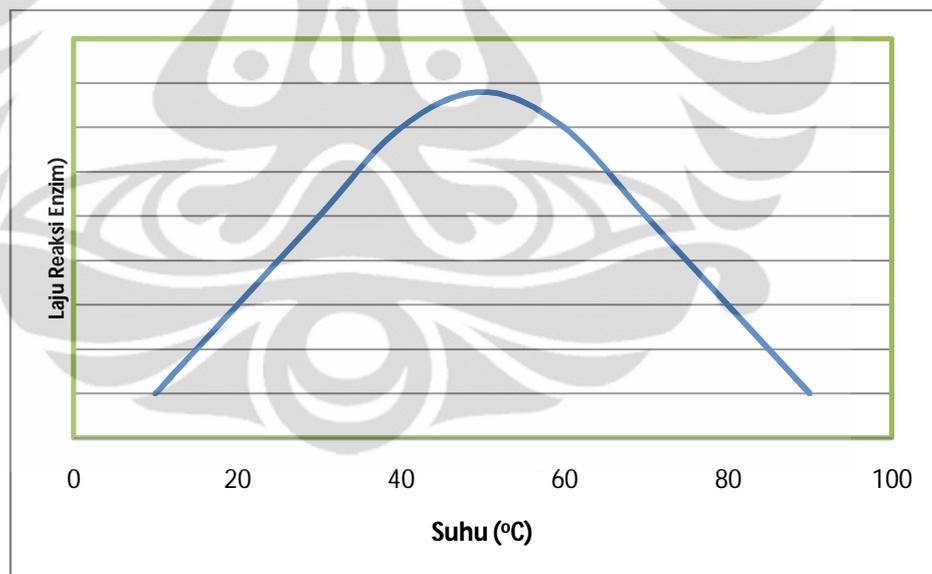
Gambar 2.3 Efek Konsentrasi Enzim terhadap Laju Reaksi Enzim (Konsentrasi Substrat, Suhu, dan pH Konstan)

Sumber : Frederick *et al.* (2010)

Jika konsentrasi enzim ganda, maka laju reaksi akan menjadi ganda. Jika konsentrasi enzim meningkat tiga kali lipat, maka laju reaksi meningkat juga tiga kali lipat. Hal ini terjadi hampir di semua reaksi enzim, karena konsentrasi molar enzim hampir selalu lebih rendah daripada substratnya (molekul substrat lebih banyak hadir dibandingkan molekul enzim) (Frederick *et al.*, 2010)

b. Suhu

Suhu merupakan ukuran dari energi kinetik dari molekul. Suhu yang lebih tinggi berarti molekul akan bergerak lebih cepat dan lebih sering bertumbukan. Sejalan dengan peningkatan suhu reaksi enzimatis berkatalis maka laju reaksi pun meningkat. Suhu yang memproduksi aktivitas maksimum untuk enzim diketahui sebagai optimum suhu untuk enzim tersebut. Optimum suhu merupakan suhu dimana enzim akan dapat melakukan aktivitasnya secara maksimum (Stoker, 2010).



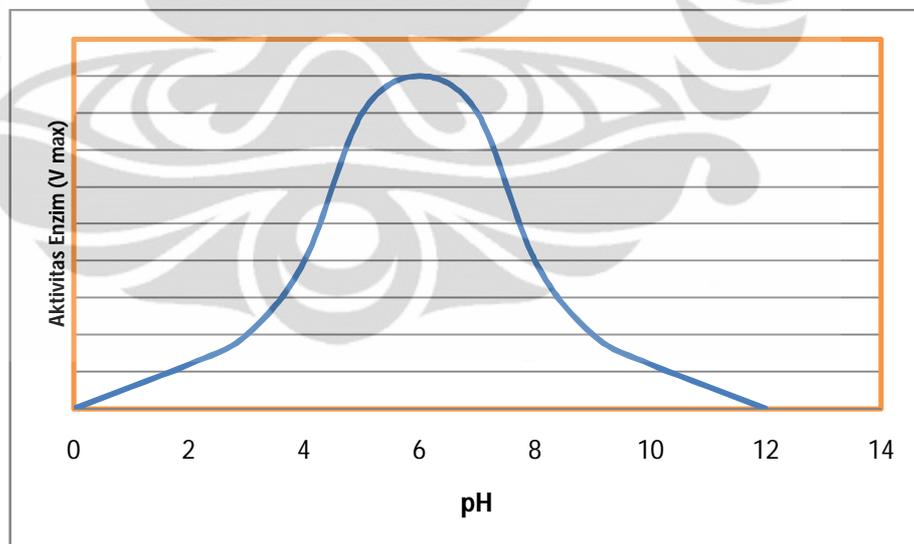
Gambar 2.4 Efek Suhu terhadap Laju Reaksi Enzim

(pH, Konsentrasi substrat dan enzim konstan)

Sumber : Stoker (2010)

c. pH

Enzim merupakan molekul amfoter yang mengandung sejumlah besar kelompok asam terutama terletak di permukaan. Keberadaan kelompok tersebut bervariasi, sesuai dengan konstanta disosiasi dengan pH lingkungan. Hal tersebut mempengaruhi keberadaan enzim secara bersih dan distribusinya ke bagian luar permukaan. Efek tersebut dipengaruhi oleh efek pH terhadap aktivitas enzim, stabilitas structural dan kelarutan dari enzim. Hubungan antara perubahan nilai pH terhadap aktivitas enzim atau dimana enzim tersebut melakukan degradasi sangatlah penting. Namun, hasil optimum pH pada optimasi enzim dengan mengukur laju reaksi enzim yang optimum bukan berarti pH tersebut akan menjadi pilihan yang optimum pula apabila diaplikasikan pada teknologi yang melibatkan enzim. Beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah variasi kelarutan substrat, produk, kesetimbangan reaksi, pemulihan sebagai pelarut organik, kerentanan terhadap oksidasi atau kontaminasi mikroba (Chaplin dan Bucke, 1990). Hubungan antara pH dengan laju reaksi enzim seperti digambarkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Efek pH terhadap Laju Reaksi Enzim

(suhu, konsentrasi substrat dan enzim konstan)

Sumber : Chaplin dan Bucke (1990)

2.6.2 Enzimatis Hidrolisis

Bakteri menghasilkan enzim dalam mendegradasi bahan organik. Enzim yang dihasilkan ini yang kemudian dapat mendegradasi komponen-komponen yang terkandung dalam bahan organik menjadi kompos. Mikroorganisme memproduksi dua sistem enzim ekstraseluler, sistem hidrolitik yang menghasilkan hidrolase dan berfungsi untuk degradasi selulosa dan hemiselulosa; dan sistem oksidatif, yang bersifat ligninolitik dan berfungsi mendepolimerasi lignin (Saraswati *et al.*, 2006). Apabila dalam proses dekomposisi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan penambahan enzim aktif yang dapat langsung mendegradasi bahan organik, maka proses dekomposisi tidak harus melalui proses kerja bakteri yang membutuhkan waktu yang lebih lama.

Enzim selulase yang kemudian akan ditambahkan pada substrat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). TKKS merupakan limbah lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa secara alami diikat oleh hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin. Oleh karena itu keberadaan senyawa lignin inilah yang menyebabkan bahan substrat TKKS sulit untuk degradasi (Iranmahboob *et al.*, 2002).

Pada proses dekomposisi yang dilakukan dalam penelitian ini pula terdiri dari, dua tahap yaitu tahap hidrolisis enzimatis, kemudian dilanjutkan dengan hidrolisis suhu.

Hidrolisis merupakan proses pelarutan senyawa organik dan pemecahan senyawa-senyawa organik rantai panjang seperti protein, karbohidrat, lemak, selulosa dan hemiselulosa menjadi materi bermolekul lebih kecil seperti glukosa, asam lemak, alkohol dan asam amino. Penambahan enzim dilakukan sebelum memulai hidrolisis enzimatis. Pada hidrolisis enzimatis, lignoselulosa tidak dapat langsung dipecah menjadi fraksi-fraksi gula sederhana akibat kuatnya ikatan lignin dan sifat kristal dari selulosa yang ada di dalam lignoselulosa (Mosier *et al.*, 2005). Oleh karena itu dilakukannya pencacahan TKKS terlebih dahulu agar lignoselulosa dapat dipecah terlebih dahulu, barulah kemudian dilakukan hidrolisis. Pada reaksi enzimatis pula dijaga agar suhu tetap konstan selama dekomposisi berjalan, karena kondisi selulase dalam suhu yang stabil dapat meningkatkan laju reaksi, menurunkan kebutuhan enzim, memperpanjang waktu

paruh, dan menurunkan kemungkinan kontaminasi mikroba (Abdelnasser dan Ahmed, 2007).

Hidrolisis enzimatis pada pengolahan material selulosa dapat dicapai dengan melalui suatu reaksi yang kompleks dari berbagai enzim. Selulase merupakan enzim induktif yang disintesis oleh mikroorganisme selama pertumbuhannya pada material selulosa (Lee and Koo, 2001).

Karena dekomposisi TKKS yang dilakukan melalui suatu proses degradasi yang dibantu oleh proses hidrolisis enzimatis dan hidrolisis suhu, maka dimungkinkan proses dekomposisi tersebut akan berjalan lebih cepat daripada proses pengomposan konvensional yang hanya mengandalkan degradasi bahan organik oleh mikroorganisme.

2.7 Standar Kompos menurut SNI

Menurut SNI 19-7030-2004 tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestik memiliki persyaratan karakteristik kompos yang baik adalah sebagai berikut :

1. Kematangan Kompos

Kematangan kompos menurut SNI ditunjukkan oleh hal-hal berikut ini :

- 1) C:N rasio memiliki nilai (10-2-) :1
- 2) Suhu sesuai dengan suhu air tanah
- 3) Berwarna kehitaman dan tekstur seperti tanah
- 4) Berbau tanah

2. Tidak mengandung bahan asing

Kompos yang tidak mengandung bahan asing didefinisikan menurut SNI sebagai berikut :

- 1) Semua bahan pengotor organik atau anorganik seperti logam, gelas, plastik, dan karet
- 2) Pencemar lingkungan seperti senyawa logam berat, B3, dan kimia seperti pestisida

3. Unsur Mikro

Undur nilai mikro ini dikeluarkan berdasarkan :

- 1) Konsentrasi unsur-unsur mikro yang penting untuk pertumbuhan tanaman (khususnya Cu, Mo, Zn)
 - 2) Logam berat yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan tergantung pada konsentrasi maksimum yang diperbolehkan dalam tanah, seperti dalam tabel spesifikasi kompos dari sampah organik domestik yang terlampir.
4. Organisme Patogen
- Organisme pathogen tidak melampaui batas berikut :
- 1) *Fecal coli* 1000 MPN/gr total solid dalam keadaan kering
 - 2) *Salmonella* sp. 3 MPN/4 gr total solid dalam keadaan kering
- Hal tersebut dapat dicapai dengan menjaga kondisi operasi pengomposan pada temperatur 55 °C.
5. Pencemar Organik
- Kompos yang dibuat tidak mengandung bahan aktif pestisida yang dilarang sesuai dengan KEPMEN PERTANIAN No.434.1/KPTS/TP.270/7/2001 Tentang Syarat dan Tata Cara Pendaftaran Pestisida Pada Pasal 6 Mengenai Jenis-Jenis Pestisida yang Mengandung
6. Karakteristik lainnya
- Karakteristik lain yang dapat dievaluasi dengan nilai agronomi, yaitu sebagai berikut :
- 1) Bahan organik
Kandungan bahan organik dalam kompos minimal 27%
 - 2) Kadar air
Kadar air yang diperbolehkan dalam kompos maksimal 50%
 - 3) Parameter sebagai indikator nilai agronomis
Parameter sebagai indikator nilai agronomis kompos,yaitu :
 - 1) pH,
pH kompos harus netral
 - 2) Konsentrasi N, P₂O₅ dan K₂O;
Konsentrasi unsur humur utama dalam kompos adalah N, P₂O₅ dan K₂O dari masing-masing tipe kompos tergantung dari penggunaan;

3) Kemampuan pengikat air

Kemampuan kompos dalam mengikat air untuk menetapkan dalam mengevaluasi kualitas kompos.

7. Spesifikasi kualitas kompos dari sampah organik domestik

Spesifikasi kualitas kompos yang berasal dari sampah organik domestik adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Spesifikasi Kualitas Kompos dari Sampah Organik menurut SNI

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1	Kadar Air	%	-	50
2	Temperatur	°C		suhu air tanah
3	Warna			kehitaman
4	Bau			berbau tanah
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25
6	Kemampuan ikat air	%	58	-
7	pH		6,80	7,49
8	Bahan asing	%	*	1,5
Unsur makro				
9	Bahan organik	%	27	58
10	Nitrogen	%	0,40	-
11	Karbon	%	9,80	32
12	Phosfor (P ₂ O ₅)	%	0,10	-
13	C/N-rasio		10	20
14	Kalium (K ₂ O)	%	0,20	*
Unsur mikro				
15	Arsen	mg/kg	*	13
16	Kadmium (Cd)	mg/kg	*	3
17	Kobal (Co)	mg/kg	*	34
18	Kromium (Cr)	mg/kg	*	210
19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
20	Merkuri (Hg)	mg/kg	*	0,8
21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
Unsur lain				
25	Kalsium	%	*	25.50
26	Magnesium (Mg)	%	*	0.60
27	Besi (Fe)	%	*	2.00
28	Aluminium (Al)	%	*	2.20
29	Mangan (Mn)	%	*	0.10
Bakteri				
30	Fecal Coli	MPN/gr		1000
31	Salmonella sp.	MPN/4 gr		3
Keterangan : * Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum				

Sumber : SNI 19-7030-2004

2.8 Pupuk Kompos TKKS

Pupuk kompos TKKS merupakan pupuk organik yang berasal dari pengomposan TKKS. Kompos TKKS memiliki keunggulan meliputi : kandungan kalium yang tinggi, tanpa penambahan *starter* dan bahan kimia, memperkaya unsur hara yang ada di dalam tanah, dan mampu memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi.

Kompos TKKS pula memiliki beberapa sifat yang menguntungkan antara lain (Darnoko dan Ady (2006) dalam Marlina,2010).

1. Memperbaiki struktur tanah berlempung menjadi ringan;
2. Membantu kelarutan unsur-unsur hara yang diperlukan bagi pertumbuhan tanaman;
3. Bersifat homogen dan mengurangi risiko sebagai pembawa hama tanaman;
4. Merupakan pupuk yang tidak mudah tercuci oleh air yang meresap dalam tanah dan;
5. Dapat diaplikasikan pada sembarang musim

Darmoko dan Sutarta (2006) menyatakan bahwa dalam kompos TKKS terdapat beberapa kandungan nutrisi penting bagi tanaman. Kandungan nutrisi dalam kompos TKKS dapat disajikan pada Tabel berikut ini :

Tabel 2.4 Kandungan Nutrisi dalam Kompos TKKS,

Parameter	Nilai (%)
Air	45-50
Abu	12,60
N	2-3
C	35,10
P	0,2-0,4
K	4-6
Ca	1-2
Mg	0,8-1
C/N	15,03
Bahan Organik	>50%

Sumber : Darmoko dan Sutarta (2006)

Pupuk dengan rasio C:N yang tinggi kurang baik diberikan ke tanaman karena proses peruraian selanjutnya akan terjadi di dalam tanah. CO₂ yang

dihasilkan dari peruraian tersebut akan berpengaruh kurang baik terhadap pertumbuhan tanaman (Primantoro, 2007).

Kompos dari TKKS ini dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk berbagai tanaman, baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan pupuk kimia. Pada tahun 2002 telah dilakukan penelitian aplikasi kompos TKKS pada tanaman cabe di Kabupaten Tanah Karo. Menurut Pusat Penelitian Kelapa Sawit (2008), aplikasi kompos TKKS dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi cabe, yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan tanpa pupuk organik (kontrol) maupun aplikasi pupuk kandang. Aplikasi 0,25 dan 0,50 kg kompos TKKS dapat meningkatkan hasil cabe berturut-turut hingga 24% dan 45% dibanding perlakuan kontrol, sedangkan aplikasi pupuk kandang hanya dapat meningkatkan hasil sebesar 7% dibanding perlakuan kontrol.

Selain penelitian pada tanaman cabe, aplikasi kompos TKKS pula dilakukan pada tanaman jeruk. Hasil pengamatan terhadap aplikasi kompos TKKS pada produksi tanaman jeruk selama dua kali panen menunjukkan bahwa aplikasi kompos berpengaruh terhadap peningkatan produksi jeruk. Aplikasi kompos TKKS hingga 30 kg dapat meningkatkan produk jeruk sebesar 49% – 74% dibanding kontrol tanpa kompos. Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa jeruk dengan aplikasi kompos mempunyai kulit buah yang lebih mengkilap dibandingkan jeruk yang tidak diberi kompos. Hal ini diduga erat kaitannya dengan cukupnya hara kalium yang diserap tanaman, yang berasal dari kompos TKKS (Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2008).

Kemudian kompos TKKS pula dimanfaatkan sebagai media tumbuh tanaman hortikultura, Pemanfaatan kompos TKKS sebagai media tanpa tanah dan pemupukan dilakukan pada tanaman pot *Spathiphyllum* dengan kombinasi kompos TKKS dan pupuk kandang yang digunakan sebagai petak utama dan frekuensi pemupukan sebagai anak petak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi media berpengaruh nyata terhadap semua parameter yang diamati kecuali untuk pori terisi udara dan kadar N daun, sedang frekuensi pemupukan tidak berpengaruh nyata terhadap semua parameter yang diamati kecuali terhadap tinggi tanaman mulai umur dua bulan dan kadar K pada tanaman umur enam bulan. Kombinasi 50% kompos TKKS dan 50% pupuk kandang adalah media

yang baik untuk tanaman *Spathiphyllum* (Wuryaningsih dan Goenadi, 1995 dalam Marlina, 2010).

Apabila dilihat standar komposisi pupuk kualitas kompos berdasarkan SNI 19-7030-2004, bahwa penelitian Darmoko dan Sutarta (2006) tentang kandungan nutrisi yang terkandung dalam kompos TKKS, secara umum telah memenuhi persyaratan spesifikasi kualitas kompos sesuai dengan standar SNI. Kadar air yang dimiliki oleh pupuk Kompos TKKS berkisar antara 45-50 %, dan menurut SNI kadar air maksimum yang diperbolehkan adalah sebesar 50 %. Rasio C/N yang dimiliki pupuk kompos TKKS tersebut memiliki nilai 15,03 di dalam kisaran standar SNI yaitu sebesar 10-20. Begitupun dengan nilai N, P, dan K dari pupuk kompos TKKS berada di atas nilai minimum standar SNI. Jadi kesimpulan yang dapat ditarik adalah pada dasarnya kandungan kualitas kompos pada pupuk kompos TKKS dengan pupuk organik yang berasal dari sampah domestik tidak jauh berbeda, hanya saja pengomposan TKKS dilakukan agar tidak terjadi penumpukan timbulan limbah TKKS.

2.9 Hipotesa

Berdasarkan analisa awal, dapat disimpulkan bahwa :

- ⇒ Penambahan enzim aktif pada proses hidrolisis enzimatik akan mempercepat proses dekomposisi
- ⇒ Suhu inkubasi pada hidrolisis enzimatik mempengaruhi dekomposisi TKKS. Pada suhu optimum, dekomposisi akan berjalan maksimal.
- ⇒ Konsentrasi enzim yang ditambahkan pada proses enzimatik mempengaruhi dekomposisi TKKS.
- ⇒ Suhu hidrolisis akan mempengaruhi dekomposisi TKKS.

2.10 Parameter Dekomposisi

Pada penelitian kali ini kualitas fisik kompos yang diteliti adalah pH dan kadar air. Selain itu, untuk melihat adanya pengaruh penambahan enzim terhadap dekomposisi TKKS pada penelitian ini, parameter kualitas kompos yang diteliti dalam melihat adanya dekomposisi yang terjadi adalah nilai C-organik, N-total, dan rasio C:N. Indikator rasio C:N digunakan karena pada intinya dekomposisi

terjadi dengan adanya oksidasi karbon dan penggunaan nitrogen untuk sintesis protein, maka senyawa Karbon (C) dan nitrogen (N) merupakan komponen yang paling mungkin dapat digunakan untuk membatasi proses pengomposan (*Ministry of Agriculture and Food British Columbia, 1996*). Sutanto (2002) pula menambahkan bahwa rasio C:N berkenaan dengan persentase senyawa organik yang memberikan indikasi intensitas proses dekomposisi, karena persentase senyawa organik menentukan jumlah komponen dalam bahan dasar kompos yang akan terdekomposisi.



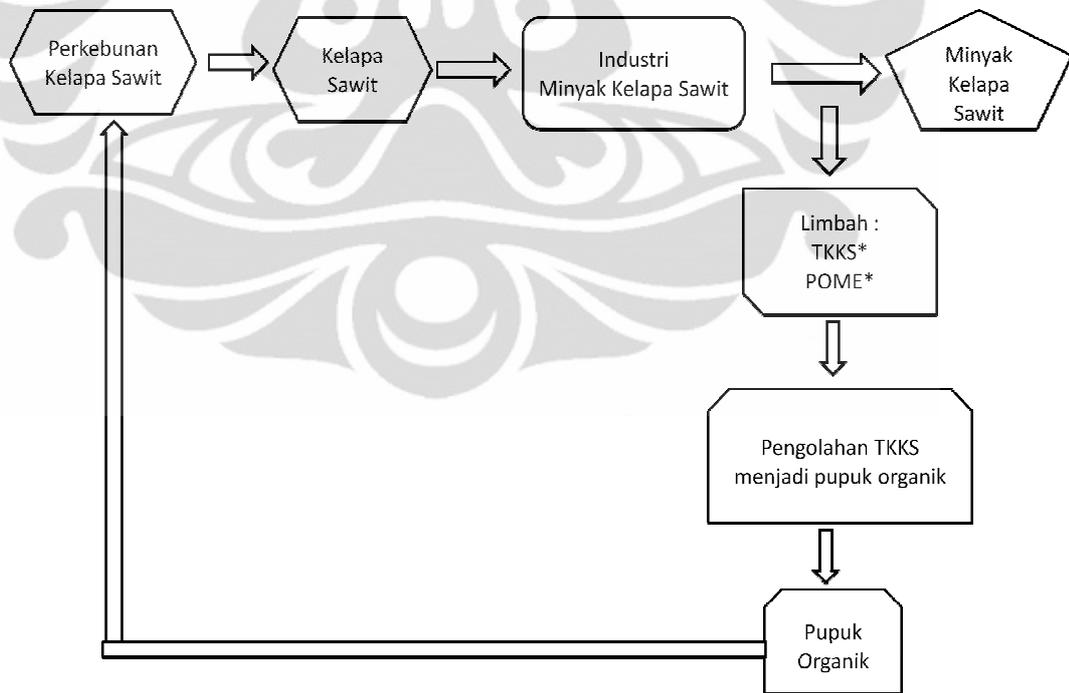
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental untuk mengetahui pengaruh penambahan enzim pada proses dekomposisi yang dilakukan.

3.2 Alur Pemanfaatan Limbah

Sebuah industri minyak kelapa sawit akan menghasilkan limbah padat yang berupa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Sesuai dengan konsep pencegahan pencemaran, maka limbah tersebut kemudian diolah agar menjadi suatu barang yang memiliki nilai guna kembali. Pupuk organik yang dihasilkan dari pemanfaatan limbah industri minyak kelapa sawit akan dimanfaatkan untuk perkebunan kelapa sawit itu sendiri. Berikut ini diagram alir pemanfaatan limbah yang dihasilkan oleh industri minyak kelapa sawit :

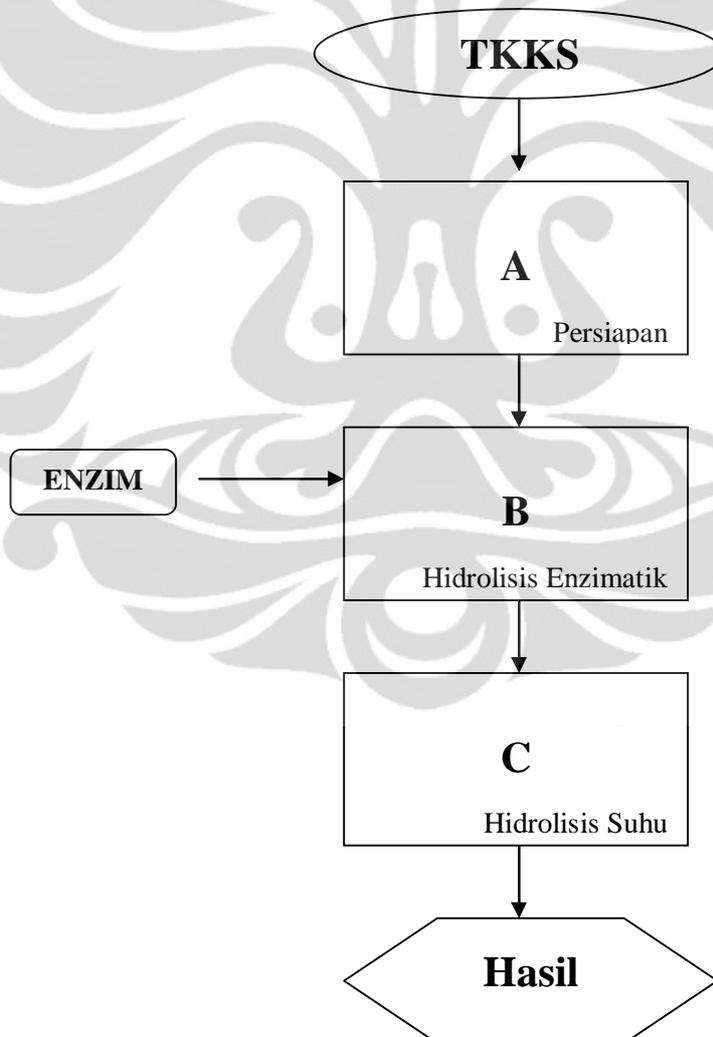


Gambar 3.1 Bagan Alir Pemanfaatan Limbah Industri Kelapa Sawit

(Hasil Olahan, 2011)

3.3 Pengolahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Pupuk Organik

Pengolahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menjadi pupuk organik dapat menggunakan cara pengomposan. Pengomposan yang selama ini dilakukan masih menggunakan pengomposan konvensional yang membutuhkan lahan yang besar dan waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, kemudian dilakukan penelitian akan proses pengolahan pupuk organik yang sekiranya dapat lebih mempersingkat waktu pengomposan TKKS. Proses pengolahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menjadi pupuk organik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Pengolahan TKKS Menjadi Pupuk Organik

(Hasil Olahan, 2011)

Pengolahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang dilakukan pada penelitian ini melalui beberapa tahap yaitu persiapan, hidrolisis enzimatik dan hidrolisis suhu. Pada tahap persiapan dilakukan persiapan bahan baku TKKS dan enzim yang akan digunakan dalam dekomposisi. Kemudian substrat TKKS dihidrolisis enzimatik dengan menambahkan enzim selulase pada konsentrasi tertentu, suhu inkubasi tertentu dan diinkubasi selama waktu tertentu. Penelitian pada awalnya melihat dimana suhu inkubasi yang optimum dan konsentrasi enzim yang optimum. Setelah melalui tahap hidrolisis enzimatik dan mendapatkan kondisi suhu inkubasi dan konsentrasi enzim optimum, dilakukanlah hidrolisis suhu dengan suhu yang lebih tinggi dari suhu inkubasi dengan tujuan mematikan reaksi enzim dan mendekomposisi dengan suhu yang lebih tinggi. Pada tahap ini melihat bagaimana pengaruh suhu hidrolisis terhadap dekomposisi TKKS.

3.4 Perlakuan, Variabel, dan Prosedur Dekomposisi

Dalam penelitian ini, TKKS yang diolah menjadi pupuk organik mengalami beberapa tahap *treatment* yang tergambar pada gambar 3.2, dengan penjelasan sebagai berikut :

3.4.1 Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan *pre-treatment* terhadap bahan-bahan yang akan dikomposkan yaitu TKKS, untuk menjamin substrat (TKKS) cocok (*compliant*) dengan enzim yang akan digunakan. *Pre-treatment* yang dilakukan adalah berupa proses fisik (*breaking*) seperti mengatur ukuran TKKS dengan pencacahan atau penggilingan dengan *grinder* dan persiapan bahan baku enzim. Kontrol *bahan* dilakukan pula sebelum dilakukannya *treatment* berikutnya dengan mengukur rasio C:N dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang digunakan sebagai bahan baku.

Pada tahap persiapan ini pula dilakukan pengadaan enzim. Enzim yang digunakan adalah enzim selulase yang didapatkan dari Laboratorium Bioindustri, BPPT Serpong. Optimasi terhadap enzim ini telah dilakukan terlebih dahulu oleh pihak Laboratorium Bioindustri, dan mendapatkan hasil suhu optimum untuk enzim selulase adalah pada suhu 70°C dan pH 5.

3.4.2 Tahap Hidrolisis Enzimatik

Setelah substrat TKKS mengalami tahap persiapan berupa pencacahan, dan enzim pula telah tersedia untuk digunakan, pada tahapan hidrolisis enzimatik, akan dilakukan penambahan enzim sebanyak konsentrasi tertentu kepada substrat TKKS kemudian diinkubasi pada suhu tertentu. Enzim selulase yang digunakan terlebih dahulu dioptimasi dan didapatkan bahwa pH optimum enzim berada pada kisaran pH 5. Maka dari tahapan ini keluarlah dua variabel penelitian yaitu suhu inkubasi dan konsentrasi enzim yang ditambahkan dalam proses hidrolisis enzimatik. Penjelasan akan dua variabel tersebut akan dijelaskan sebagai berikut :

3.4.2.1 Pengaruh Suhu Inkubasi dalam Hidrolisis Enzimatik

a) Perlakuan dan Variabel

Pada tahapan ini dekomposisi dilakukan dengan menambahkan enzim selulase pada substrat TKKS yang dikondisikan pada nilai konstan pH 5, konsentrasi enzim 4%, dan waktu inkubasi 60 menit yang telah ditetapkan terlebih dahulu. Penetapan ini untuk melihat pengaruh suhu inkubasi yang optimum pada kondisi pH, konsentrasi enzim, dan waktu inkubasi yang konstan, pada suhu optimum akan berlangsung dekomposisi yang optimum. Oleh karena itu dalam waktu inkubasi 60 menit akan dilihat seberapa besar dekomposisi yang terjadi pada suhu optimum dekomposisi.

Dekomposisi dari proses ini dilakukan dalam tiga kondisi suhu inkubasi, yaitu 50°C, 60°C, dan 70°C. Suhu inkubasi tersebut dipilih karena hasil optimasi suhu enzim selulase berada pada suhu 70°C, sehingga ketika diujikan pada substrat dipilih suhu yang berkisar diantara suhu optimum enzim. Kemudian hasil dekomposisi dilakukan analisa nilai C:N.

Kemudian dari hasil nilai rasio C:N tersebut dianalisa dan dibandingkan dengan nilai rasio C:N bahan untuk mengetahui pada suhu mana yang paling baik dalam dekomposisi substrat TKKS. Dekomposisi TKKS tergambar dari turunnya nilai rasio C:N terhadap nilai rasio C:N bahan.

b) Alat dan Bahan

- Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

- Enzim selulase
- Aquades
- NaOH 1 molar untuk adjust pH
- HCl 1 molar untuk adjust pH
- Mesin Pencacah (*grinder*)
- Labu Erlenmeyer 500 mL
- Pipet 1 ml
- *Waterbath*
- Timbangan digital

c) Prosedur Dekomposisi

1. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dicacah dan dihancurkan dengan *grinder*, kemudian ditimbang seberat 25 gram
2. Dibuat 3 sampel untuk 3 variasi suhu pada penggunaan enzim selulase
3. Tandan kosong yang telah dihaluskan sebanyak 25 gram dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 500 mL
4. Aquades sebanyak 250 mL yang telah dikondisikan pH sebesar 5, dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi TKKS.
5. Kemudian diinkubasi sesuai dengan suhu inkubasi 50°C, 60°C, dan 70°C, selama 15 menit.
6. Setelah diinkubasi air yang berada dalam labu Erlenmeyer dikeluarkan untuk melarutkan enzim yang akan ditambahkan.
7. Enzim aktif selulase sebanyak 4% dari berat substrat (1ml) yang telah dilarutkan, ditambahkan pada TKKS.
8. Setelah ditambahkan enzim aktif, masing-masing sampel TKKS tersebut dimasukkan ke dalam inkubator dengan suhu 50°C, 60°C, dan 70°C. Inkubator yang digunakan adalah *shaker waterbath*.
9. Setelah pemanasan pada inkubator selama 60 menit, dilakukan dengan pemanasan kompos TKKS pada *waterbath* dengan suhu

100°C selama 15 menit yang bertujuan untuk mematikan reaksi enzim.

10. Setelah 15 menit, kompos diangkat, , kemudian didinginkan pada suhu ruang, ditiriskan dan diukur %C, %N, rasio C/N.

Keterangan :

- o Konsentrasi enzim ditentukan sebesar 4% dalam 25 gram substrat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang telah dicacah terlebih dahulu.
- o 1 ml enzim selulase dalam kondisi pH aquades sebesar 5
- o NaOH dan HCL untuk mengkondisikan pH

3.4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Enzim dalam Hidrolisis Enzimatik

a) Perlakuan dan Variabel

Pada tahapan ini dilakukan dekomposisi dalam kondisi suhu sesuai dengan suhu optimum yang telah didapat, pH dan waktu inkubasi yang konstan. Proses dekomposisi dilakukan pada tiga kondisi, yaitu 2%, 4%, dan 6%. Pemilihan konsentrasi tiap perlakuan tersebut berdasarkan efisiensi penggunaan enzim. Walau pada dasarnya penambahan enzim yang lebih besar akan membantu dekomposisi, namun dalam tahapan ini dilihat apabila dengan konsentrasi yang kecil seberapa besar dekomposisi terjadi. Kemudian hasil dekomposisi dilakukan analisa nilai C:N.

Kemudian dari hasil nilai rasio C/N tersebut dianalisa dan dibandingkan dengan nilai rasio C/N bahan untuk mengetahui pada konsentrasi enzim mana yang paling baik dalam dekomposisi substrat TKKS. Dekomposisi TKKS tergambar dari turunnya nilai rasio C/N terhadap nilai rasio C/N bahan.

b) Alat dan Bahan

- Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)
- Enzim selulase
- Aquades
- NaOH 1 molar untuk adjust pH

- HCl 1 molar untuk adjust pH
- Mesin Pencacah (*grinder*)
- Labu Erlenmeyer 500 mL
- Timbangan digital
- Pipet 1 ml
- *Waterbath*

c) Prosedur Dekomposisi

1. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dicacah dan dihancurkan dengan grinder, kemudian ditimbang seberat 25 gram untuk satu sampel.
2. Dibuat 3 sampel untuk 3 konsentrasi penggunaan enzim selulase
3. Tandan kosong yang telah dihaluskan sebanyak 25 gram dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 500 mL
4. Aquades sebanyak 250 mL yang telah dikondisikan pH sebesar 5, dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi TKKS.
5. Kemudian diinkubasi sesuai dengan suhu optimum, selama 15 menit.
6. Setelah diinkubasi air yang berada dalam labu Erlenmeyer dikeluarkan untuk melarutkan enzim yang akan ditambahkan.
7. Enzim aktif selulase sebanyak 2% dari berat substrat (0,5 ml), 4% dari berat substrat (1 ml), dan 6% dari berat substrat (1,5 ml) yang telah dilarutkan, ditambahkan pada masing-masing sampel TKKS.
8. Setelah ditambahkan enzim aktif, TKKS tersebut dimasukkan ke dalam inkubator dengan suhu optimum yang didapat dari optimasi enzim. Inkubator yang digunakan adalah *waterbath*
9. Setelah pemanasan pada inkubator selama 60 menit, dilakukan dengan pemanasan kompos TKKS pada *waterbath* dengan suhu 100°C selama 15 menit yang bertujuan untuk mematikan reaksi enzim.

10. Setelah 15 menit, kompos diangkat, kemudian didinginkan pada suhu ruang, ditiriskan dan diukur %C, %N, rasio C/N.

Keterangan :

- NaOH dan HCL untuk mengkondisikan pH
- Waktu inkubasi dilakukan selama 60 menit
- Suhu inkubasi sesuai dengan suhu optimum dari kajian sebelumnya

Setelah melakukan penelitian pada tahap hidrolisis enzimatik dan mendapatkan kondisi suhu inkubasi dan konsentrasi enzim yang baik dalam hidrolisis enzimatik, kemudian dilakukan penelitian selanjutnya yang melihat pengaruh suhu dalam proses hidrolisis suhu. Pada penelitian selanjutnya dilakukan satu rangkaian proses dekomposisi dari mulai persiapan, hidrolisis enzimatik kemudian dilanjutkan dengan hidrolisis suhu. Penjelasan mengenai variabel, perlakuan dan prosedur dekomposisi sebagai berikut :

3.4.3 Rangkaian Dekomposisi TKKS (Hidrolisis Enzimatik-Hidrolisis Suhu)

a) Perlakuan dan Variabel

Seluruh kajian yang telah dilakukan sebelumnya merupakan kajian pengaruh faktor-faktor yang mempengaruhi pada proses hidrolisis enzimatik. Setelah proses hidrolisis enzimatik dilakukan proses hidrolisis suhu dalam mendegradasi bahan organik. Pada tahap ini dilakukan dekomposisi TKKS dengan proses hidrolisis enzimatik yang diteruskan dengan proses hidrolisis suhu. Proses hidrolisis suhu dilakukan dalam dua kondisi suhu, yaitu pada suhu 100°C dengan menggunakan *waterbath* dan pada suhu 121°C dengan menggunakan *autoclave*.

Dekomposisi pula tidak hanya dilakukan dalam satu hari, namun dilakukan dengan mendekomposisinya secara hidrolisis enzimatik hingga empat hari kemudian di sampling pada hari ke 1, 2, 3, dan 4. Kemudian sampel setiap harinya diteruskan dengan proses hidrolisis suhu. Sampling dilakukan untuk perlakuan penambahan enzim dengan hidrolisis pada suhu

100°C dan hidrolisis pada suhu 121°C . Dan sebagai kontrol dibuatlah blanko dengan perlakuan tanpa ditambahkan enzim namun tetap mengikuti proses hidrolisis enzimatik yang dilanjutkan dengan hidrolisis pada suhu 100°C dan 121°C.

b) Alat dan Bahan

- Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)
- Enzim selulase
- Aquades
- NaOH 1 molar untuk adjust pH
- HCl 1 molar untuk adjust pH
- Mesin Pencacah (*grinder*)
- Timbangan digital
- Labu Erlenmeyer 5 L
- Pipet 10 ml
- *Waterbath*
- *Autoclave*

c) Prosedur Dekomposisi

- 1) Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dicacah dan dihancurkan dengan *grinder*
- 2) Timbang sebanyak 200gram TKKS yang telah dicacah, kemudian dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 2L untuk perlakuan penambahan enzim, kemudian 200 gram lagi untuk blanko.
- 3) Siapkan air aquades dengan pH 5 untuk perlakuan enzim dan pH 7 untuk blanko sebanyak masing-masing 1 liter
- 4) Aquades dengan pH 5 ditambahkan ke dalam substrat TKKS yang akan mendapat perlakuan enzim, dan pH 7 yang akan menjadi blanko.
- 5) Sampel perlakuan enzim diinkubasi terlebih dahulu pada suhu inkubasi optimum yang telah didapat pada tahapan sebelumnya selama 15 menit, kemudian diangkat dan air ditiris.

- 6) Air yang ditiris kemudian dicampurkan dengan enzim selulase sebanyak konsentrasi optimum yang didapatkan pada tahap sebelumnya, dan dikocok.
- 7) Kemudian air tersebut ditambahkan kembali pada substrat sambil diratakan ke seluruh bagian dengan mengaduknya.
- 8) Setelah itu sampel baik dengan perlakuan enzim maupun blanko diinkubasi pada suhu inkubasi optimum yang telah didapat pada tahap sebelumnya.
- 9) Sampling dilakukan pada masa inkubasi 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari dengan mengambil kompos pada perlakuan dengan enzim dan tanpa enzim,
- 10) Dibuat satu sampel dari perlakuan enzim dan satu sampel dengan perlakuan blanko kemudian dihidrolisis 100°C dengan menggunakan *waterbath* selama 60 menit.
- 11) Diambil pula satu sampel pada perlakuan enzim dan satu sampel dengan perlakuan blanko kemudian diautoclave selama 60 menit dengan suhu 121°C

3.5 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian atau pembuatan kompos akan dilakukan di Laboratorium Bioindustri, LABTIAP 1 BPPT Serpong dan analisa kompos akan diperiksa di Pusat Teknologi Budidaya Pertanian, LABTIAP 2 BPPT Serpong. Berikut ini jadwal penelitian yang akan dilakukan :

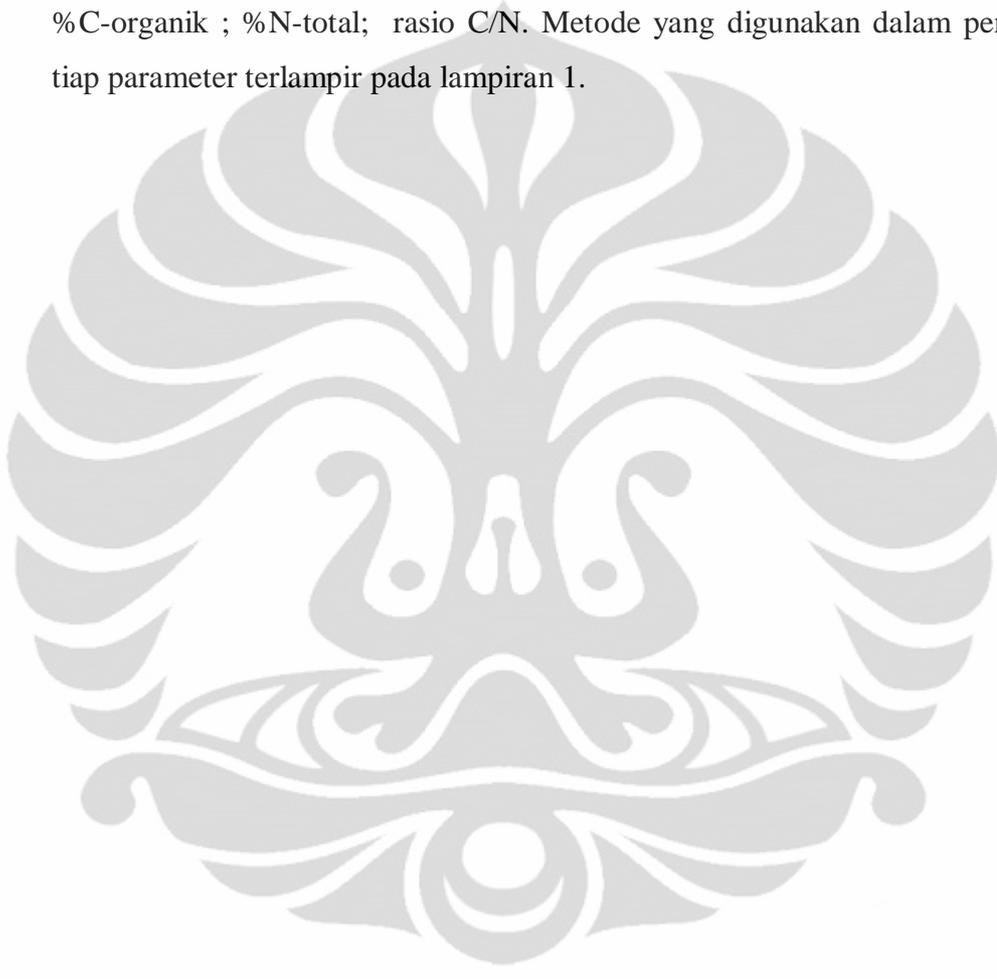
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Desember				Januari				Februari				Maret				April				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Persiapan umum																					
2	Persiapan alat bahan																					
3	Analisis awal (bahan & enzim)																					
4	Penelitian tahap reaksi enzimatik																					
5	Analisa Hasil Proses Enzimatik																					
6	Penelitian tahap hidrolisis																					
7	Analisa hasil pengomposan																					

Sumber: Hasil olahan, 2010

3.6 Analisa Hasil Dekomposisi dan Metode Pengukuran

Hasil dekomposisi akan diperiksa di Pusat Teknologi Budidaya Pertanian, LABTIAP 2 BPPT Serpong. Analisa yang dilakukan meliputi: pH ;Kadar air; %C-organik ; %N-total; rasio C/N. Metode yang digunakan dalam pengukuran tiap parameter terlampir pada lampiran 1.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang digunakan sebagai bahan baku dekomposisi pada penelitian ini memiliki kandungan C-organik, N-total, dan rasio C:N yang tergambar pada tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Nilai C-organik, N-Total dan Rasio C:N *Bahan TKKS*

	C-organik (%)	N-Total (%)	Rasio C/N
Substrat TKKS	56,49	0,34	165 : 1

Sumber : Hasil Olahan (2011)

Rasio C:N substrat TKKS yang digunakan pada penelitian kali ini memiliki nilai sebesar 165 : 1. Nilai rasio C;N tersebut dapat dikatakan besar karena rasio C:N yang ideal agar dekomposisi berjalan efisien berada dalam rentang 25:1 – 45:1 (*Ministry of Agriculture and Food British Columbia, 1996*). Nilai rasio C:N yang besar diakibatkan oleh nilai Karbon Organik (C-Organik) yang tinggi dan Nitrogen Total (N-Total) yang rendah. Nilai C-organik yang dimiliki substrat termasuk tinggi karena kandungan selulosa yang tinggi (*Rina et al., 2006*). Agar dekomposisi dapat berjalan efisien, sebaiknya nilai rasio C;N dikondisikan terlebih dahulu. Namun karena dalam penelitian ini melihat sejauh mana pengaruh penambahan enzim serta perlakuan yang akan dilakukan dalam dekomposisi TKKS yang tergambar dengan penurunan rasio C:N, maka bahan yang akan didekomposisi tidak dilakukan pengkondisian rasio C:N terlebih dahulu.

4.2 Tahap Hidrolisis Enzimatik

4.2.1 Pengaruh Suhu Inkubasi dalam Proses Hidrolisis Enzimatik

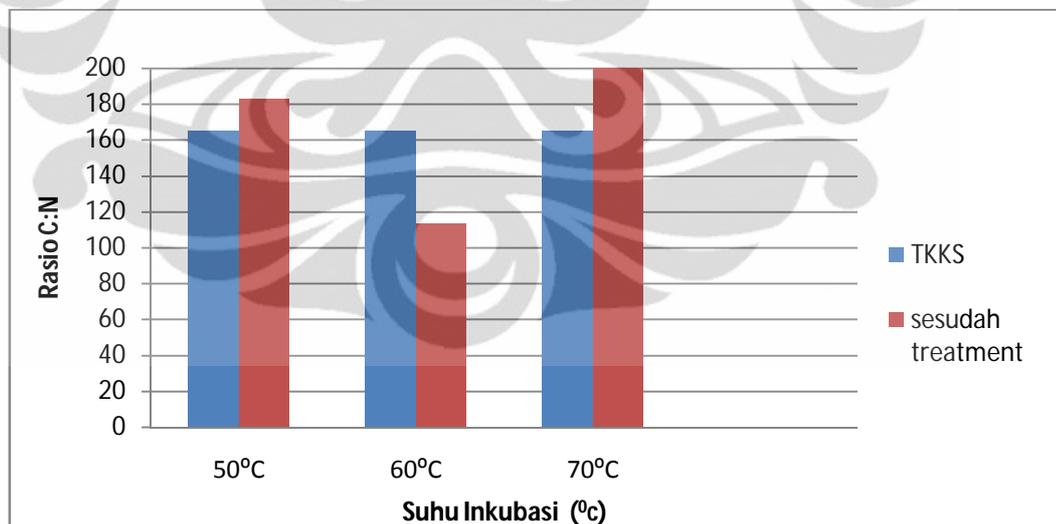
Pada kajian suhu, sampel yang telah ditambahkan enzim pada konsentrasi tertentu yang konstan, diinkubasi dalam suhu-suhu tertentu. Penentuan suhu tersebut berdasarkan hasil optimasi dari enzim yang digunakan. Data rasio C:N dari sampel pengaruh suhu inkubasi reaksi enzimatik dalam dekomposisi TKKS tergambar dalam tabel 4.2 :

Tabel 4.2 Nilai Rasio C:N dari Masing-Masing Perlakuan Suhu

No	Sampel	Rasio C/N
1	50°C	182 :1
2	60°C	113 :1
3	70°C	226 :1

Sumber : Hasil Olahan (2011)

Untuk melihat adakah pengaruh suhu inkubasi dalam dekomposisi TKKS dengan penambahan enzim adalah dengan melihat adakah perubahan rasio C:N sampel terhadap hasil rasio C:N bahan setelah didekomposisi. Dekomposisi TKKS pada inkubasi dengan suhu 50°C menghasilkan rasio C:N sebesar 182 :1 yang meningkat dari nilai C:N bahan sebesar 165 :1. Sedangkan pada suhu inkubasi 60°C, sampel mengalami penurunan rasio C:N dari nilai bahan menjadi sebesar 113 :1. Namun ketika suhu inkubasi lebih tinggi lagi yakni pada suhu 70°C, hasil rasio C:N sampel kembali meningkat menjadi sebesar 226 :1. Grafik dari hasil dekomposisi TKKS pada tahapan pengaruh suhu inkubasi tergambar pada gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Perbandingan Nilai Rasio C:N dari Setiap Perlakuan Suhu Inkubasi
(Hasil Olahan, 2011)

Pada gambar 4.1 di atas menggambarkan nilai rasio C:N yang dimiliki setiap perlakuan suhu inkubasi. Untuk kurva yang berwarna merah merupakan kurva yang menggambarkan nilai rasio C:N sampel setelah mendapatkan

perlakuan. Sedangkan kurva yang berwarna biru merupakan kurva yang menggambarkan nilai rasio C:N untuk bahan TKKS yang digunakan sebagai pembanding.

Pada sampel untuk perlakuan suhu inkubasi 50°C dan 70°C, letak kurva berwarna merah berada di atas kurva berwarna biru yang berarti pada perlakuan tersebut nilai rasio C:N meningkat. Sedangkan pada perlakuan suhu inkubasi 60°C, letak kurva merah berada di bawah kurva yang berwarna biru. Hal tersebut menggambarkan bahwa terjadi penurunan rasio C:N pada sampel yang mendapat perlakuan suhu inkubasi 60°C terhadap nilai rasio C:N bahan TKKS. Penurunan rasio C:N menjadi salah satu indikator terjadinya dekomposisi seperti yang telah dibahas pada literatur. Suhu yang optimum itu sendiri merupakan suhu dimana enzim dapat melakukan aktivitasnya secara maksimum. Hal tersebut berarti kondisi dimana enzim dapat melakukan degradasi bahan organik lebih aktif dibandingkan pada suhu yang bukan optimum. Di samping itu pada suhu 60°C terjadi aktivitas bakteri termofilik yang optimum (Liang *et al.*, 2003). Oleh karena itu pada suhu 60°C tersebut akan terjadi degradasi yang besar akibat kerja enzim dan bakteri yang optimum. Maka dengan penurunan rasio C:N yang terjadi pada sampel suhu inkubasi 60°C dibandingkan dengan sampel yang lain, dapat dikatakan bahwa suhu inkubasi 60°C merupakan suhu optimum dekomposisi yang didapatkan dari penelitian ini.

Pada suhu yang lebih rendah maupun yang lebih tinggi dari suhu optimum, aktivitas yang dimiliki enzim sangat lemah, sehingga laju reaksi dalam mendegradasi bahan organik pun sangat lambat. Dan apabila enzim telah mengalami inaktivasi atau tidak aktif kembali, maka enzim tidak dapat berfungsi kembali karena enzim bersifat ireversibel.

4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Enzim dalam Proses Hidrolisis Enzimatik

Pada tahap penelitian ini dilakukan dekomposisi TKKS dengan menambahkan enzim dengan konsentrasi 2%, 4%, dan 6% yang diinkubasi dalam suhu inkubasi optimum yang telah didapat dari tahap sebelumnya yaitu pada suhu

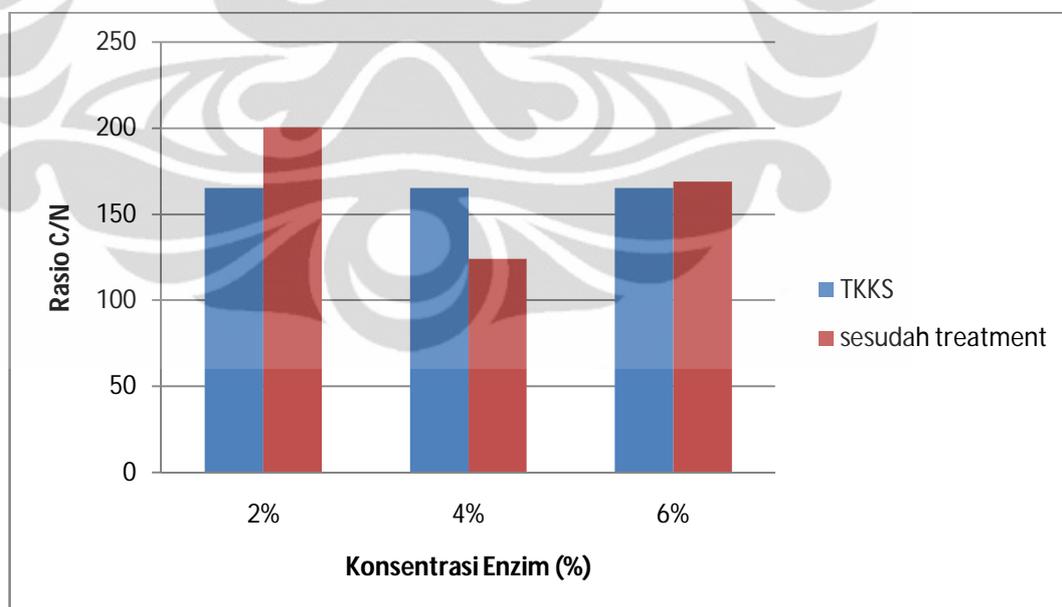
60°C. Data rasio C:N dari masing-masing perlakuan konsentrasi enzim digambarkan dalam tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Nilai Rasio C:N dari Masing-Masing Perlakuan Konsentrasi Enzim

No	Konsentrasi Enzim	C/N
1	2%	200 :1
2	4%	123 :1
3	6%	169 :1

Sumber : Hasil Olahan (2011)

Hasil rasio C:N dari sampel dengan penambahan enzim dengan konsentrasi 2% dari berat substrat adalah sebesar 200:1 yang meningkat dari rasio C:N TKKS sebesar 165:1. Berbeda pada sampel dengan penambahan enzim dengan konsentrasi 4% dari berat substrat, terjadi penurunan rasio C:N dari rasio C:N TKKS sebesar 165:1 menjadi 123:1. Sedangkan pada sampel dengan penambahan enzim sebanyak 6% dari berat substrat didapat hasil rasio C:N sebesar 169:1. Grafik nilai rasio C:N dari setiap perlakuan konsentrasi enzim tergambar pada gambar 4.2 :



Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Rasio C:N dari Setiap Perlakuan Konsentrasi Enzim
(Hasil Olahan , 2011)

Pada gambar 4.2, kurva yang berwarna merah merupakan kurva yang menggambarkan nilai rasio C:N sampel yang sudah mendapat perlakuan (*treatment*). Sedangkan kurva yang berwarna biru pada gambar 4.2 merupakan kurva yang menggambarkan nilai rasio C:N bahan TKKS.

Pada gambar 4.2, letak kurva merah berada di atas kurva biru pada sampel yang mendapat perlakuan konsentrasi enzim sebesar 2%. Sedangkan pada sampel yang mendapatkan perlakuan konsentrasi enzim sebesar 4%, letak kurva merah berada di bawah kurva biru. Hal tersebut berarti terjadi penurunan nilai rasio C:N bahan setelah didekomposisi dengan penambahan konsentrasi enzim sebesar 4%. Dan untuk sampel yang mendapat perlakuan konsentrasi enzim sebesar 6%, kurva merah berada sedikit di atas kurva biru. Hal tersebut menggambarkan bahwa penurunan rasio C:N bahan TKKS yang telah didekomposisi dengan penambahan enzim sebesar 4% berat substrat lebih besar dibandingkan dengan sampel dengan penambahan konsentrasi lainnya.

Laju reaksi enzim akan meningkat apabila konsentrasi enzim meningkat. Apabila laju reaksi enzim meningkat, maka degradasi bahan organik pun semakin cepat. Namun apabila dalam kondisi konsentrasi yang lebih besar menghasilkan degradasi yang tidak begitu berbeda jauh dari nilai bahan, sedangkan konsentrasi yang lebih rendah menghasilkan degradasi yang lebih besar maka diambil konsentrasi yang lebih rendah guna efisiensi enzim. Maka dari penelitian ini didapatkan bahwa konsentrasi enzim optimum yang ditambahkan pada substrat adalah sebesar 4% berat substrat.

4.3 Rangkaian Dekomposisi (Hidrolisis Enzimatik dan Hidrolisis Suhu)

Setelah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) didekomposisi secara hidrolisis enzimatik, kemudian dekomposisi dilanjutkan dengan hidrolisis suhu. Proses hidrolisis enzimatik dilakukan selama 4 hari. Setiap harinya dilakukan *sampling* dari proses hidrolisis enzimatik kemudian diteruskan dengan hidrolisis suhu untuk melihat bagaimana dekomposisi setiap harinya. Hidrolisis suhu yang dilakukan yaitu pada suhu 100°C dengan *waterbath* dan pada suhu 121°C menggunakan *autoclave*. Berikut ini hasil dan pembahasan dari tahap penelitian ini :

4.3.1 Perubahan pH dan Kadar Air

Kondisi substrat pada awal dekomposisi diberikan aquades pada pH 5 untuk perlakuan penambahan enzim, dan pH 7 untuk blanko. Selama dekomposisi berlangsung terjadi perubahan nilai pH yang tergambar pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4 Nilai pH Selama Waktu Dekomposisi Dilakukan

pH	Hari -1	Hari-2	Hari-3	Hari-4
Blanko. 100 °C	7,75	7,21	7,84	7,55
100 °C	6,19	6,48	6,59	7,05
Blanko. 121 °C	7,95	7,08	6,98	7,43
121 °C	5,93	6,21	6,54	6,75

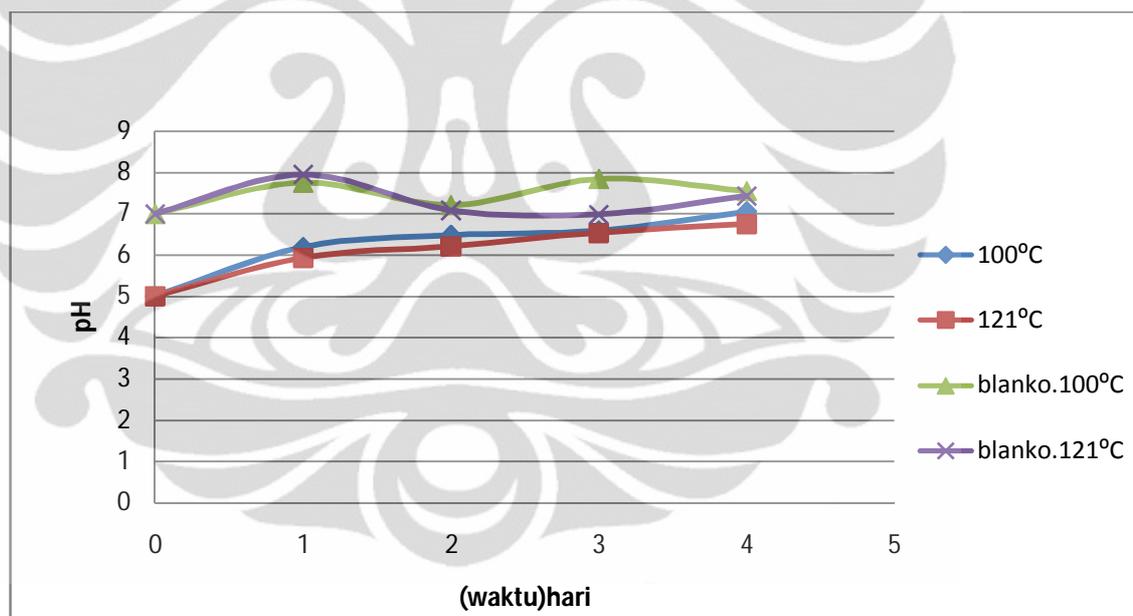
Sumber : Hasil Olahan Data (2011)

Keterangan :

- Blanko 100°C: Blanko proses hidrolisis enzimatis dilanjutkan dengan hidrolisis 100 °C
- Blanko 121°C: Blanko proses hidrolisis enzimatis dilanjutkan dengan hidrolisis 121 °C
- 100°C : Proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan hidrolisis 100°C
- 121°C : Proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan hidrolisis 121°C

Pada perlakuan blanko, diberikan aquades pada suasana netral yaitu pada pH 7. Selama dekomposisi berjalan, baik perlakuan blanko untuk hidrolisis 100°C, maupun untuk hidrolisis dengan suhu 121°C pH berada pada kisaran 6-8. Sedangkan untuk perlakuan penambahan enzim baik itu pada perlakuan hidrolisis 100°C maupun hidrolisis dengan suhu 121°C, aquades yang ditambahkan pada awal dekomposisi berada pada pH 5 karena pH optimum enzim selulase yang digunakan berada pada pH 5 . Kemudian seiring berjalannya dekomposisi pH dari kedua perlakuan suhu hidrolisis dengan penambahan enzim bergerak ke arah netral.

Namun pada perlakuan blanko.100°C di hari ke-2, blanko.121°C di hari ke-2, dan blanko.121°C hari ke-3 terjadi penurunan pH. Pada blanko.100°C di hari ke-2 terjadi penurunan pH dari pH 7,75 menjadi pH 7,21, namun meningkat kembali pada hari berikutnya menjadi 7,84. Begitu pula dengan perlakuan blanko.121°C, pada hari pertama pH sebesar 7,95 kemudian turun dihari berikutnya sebesar 7,08 dan menurun kembali menjadi 6,98 yang kemudian meningkat hingga hari ke-4. Selama pengomposan terjadi mineralisasi nitrogen organik menjadi nitrogen ammonia yang menyebabkan nilai pH meningkat. Sedangkan penurunan pH disebabkan oleh produksi asam-asam organik yang meningkat atau proses nitrifikasi (Bertoldi *et al.*, 1983). Grafik yang menggambarkan perubahan nilai pH selama dekomposisi dilakukan tergambar pada gambar 4.3 :



Gambar 4.3 Perubahan Nilai pH Selama Waktu Dekomposisi

(Hasil Olahan , 2011)

Pada gambar 4.3, grafik yang berwarna biru merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai pH untuk sampel dengan penambahan enzim setelah mendapat perlakuan hidrolisis 100°C. Grafik yang berwarna merah merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai pH untuk sampel dengan

penambahan enzim setelah mendapat perlakuan hidrolisis 121°C. Sedangkan grafik yang berwarna hijau merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai pH untuk sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang mendapat perlakuan suhu hidrolisis 100°C, dan grafik yang berwarna ungu merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai pH untuk sampel yang mendapatkan perlakuan suhu hidrolisis 121°C.

Walaupun pada awal dekomposisi nilai pH sedikit asam, kemudian dari hari ke harinya kian meningkat menuju kondisi yang netral. Hal ini sesuai dengan literatur yang mengatakan bahwa hal yang biasa apabila pH substrat selama tahap awal dekomposisi menjadi sedikit asam dikarenakan formasi dari asam organik. pH kemudian akan mulai meningkat menuju kondisi yang netral, dan mungkin dapat mencapai hingga level pH 8,5 (Cumberland County Solid Waste Authority, 1999).

Secara keseluruhan nilai pH dari setiap sampel berkisar antara 6-8, dimana menurut US EPA (1995) rentang pH 6-8 merupakan rentang ideal dalam proses pengomposan. Heerden *et al.* (2002) pula menambahkan bahwa suasana pH substrat yang alkalin dapat mempermudah pemecahan ikatan lignin-selulosa oleh enzim. Apabila pemecahan ikatan lignin-selulosa dapat dipermudah, maka dekomposisi dapat berlangsung lebih cepat. Dapat disimpulkan bahwa pH yang dimiliki oleh kompos TKKS pada penelitian ini memiliki kondisi pH yang baik untuk dekomposisi, dan kondisi tersebut dapat membantu mempercepat dekomposisi.

Selain pH, kondisi kadar air pula mempengaruhi berjalannya dekomposisi. Aktivitas mikroorganisme terjadi pada kandungan air di permukaan materi organik, maka kadar air menjadi salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam dekomposisi yang dilakukan (*Departemen of Environmental Protection*, 2000). Data kadar air dari tiap perlakuan seperti digambarkan pada tabel 4.5 :

Tabel 4.5 Nilai Kadar Air Selama Waktu Dekomposisi Berlangsung

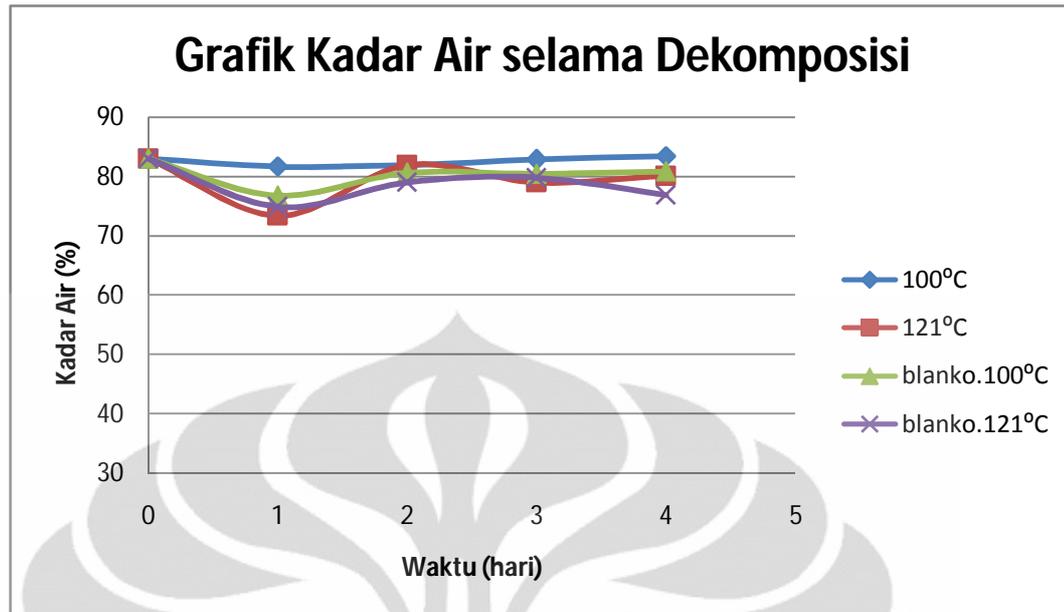
Kadar Air (%)	Hari -1	Hari-2	Hari-3	Hari-4
Blanko.100 °C	76,79	80,59	80,40	80,88
100 °C	81,67	81,96	82,84	83,45
Blanko. 121 °C	74,87	79	79,81	76,89
121 °C	73,42	81,91	79,04	80,07

Sumber : Hasil Olahan (2011)

Keterangan :

- Blanko 100°C: Blanko proses hidrolisis enzimatis dilanjutkan dengan hidrolisis 100 °C
- Blanko 121°C: Blanko proses hidrolisis enzimatis dilanjutkan dengan hidrolisis 121 °C
- 100°C : Proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan hidrolisis 100°C
- 121°C : Proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan hidrolisis 121°C

Sebelum didekomposisi, substrat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) diberikan aquades sebanyak 1 L untuk 200 gram substrat yang bertujuan agar enzim yang dicampurkan dapat merata ke seluruh permukaan substrat. Maka kadar air awal yang ditambahkan adalah sebesar 83%. Pada sampel baik untuk blanko maupun dengan penambahan enzim yang dihidrolisis pada suhu 100°C memiliki kadar air yang berkisar antara 76%-83%. Sedangkan untuk sampel yang dihidrolisis pada suhu 121°C memiliki kadar air yang berkisar antara 74%-81%. Grafik yang menggambarkan kondisi kadar air substrat selama dekomposisi terdapat pada gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Perubahan Nilai Kadar Air Selama Waktu Dekomposisi
(Hasil Olahan Data, 2011)

Pada gambar 4.4, grafik yang berwarna biru merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai kadar air untuk sampel dengan penambahan enzim setelah mendapat perlakuan hidrolisis 100°C. Grafik yang berwarna merah merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai kadar air untuk sampel dengan penambahan enzim setelah mendapat perlakuan hidrolisis 121°C. Sedangkan grafik yang berwarna hijau merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai kadar air untuk sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang mendapat perlakuan suhu hidrolisis 100°C, dan grafik yang berwarna ungu merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai kadar air untuk sampel yang mendapatkan perlakuan suhu hidrolisis 121°C.

Dari gambar 4.4 dapat tergambar bahwa kadar air minimum dimiliki oleh sampel dengan penambahan enzim yang dihidrolisis pada suhu 121°C yaitu sebesar 73,42%. Kadar air dari setiap sampel selama dekomposisi terjadi cukup besar yaitu berada pada rentang 73%-84%. Kadar air yang cukup besar dibutuhkan agar menjamin enzim dapat merata ke seluruh permukaan substrat TKKS yang didekomposisi. Menurut Sutanto (2002) kelembapan paling sedikit 25%-30% berat kering bahan, karena mikroorganismenya hanya dapat menyerap

makanan dalam bentuk larutan, maka kelembaban yang sesuai diperlukan selama proses dekomposisi berlangsung. Kemudian Diaz (2007) menambahkan bahwa aktivitas mikroba menjadi maksimal pada rentang kadar air 60-70%. Bila terlalu kering, proses dekomposisi akan terganggu. Di Indonesia, kecepatan mikroorganisme dalam mendegradasi materi organik akan lebih cepat apabila dalam kondisi kelembaban dan temperatur yang relatif tinggi.

Maka dengan kadar air atau kelembaban dari setiap sampel yang relatif tinggi, enzim dapat merata keseluruhan permukaan substrat, serta mikroorganisme yang masih terdapat dalam substrat pun dapat mendegradasi materi organik lebih cepat, sehingga proses dekomposisi substrat TKKS dapat berjalan lebih cepat.

4.3.2 Kandungan C-Organik dan N-total

Selama dekomposisi berlangsung akan terjadi perubahan nilai Karbon (C) dan nilai nitrogen (N). Perubahan nilai C-organik selama dekomposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) pada penelitian ini tergambar dalam tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Nilai C-Organik Selama Dekomposisi Dilakukan

C-Organik (%)	Hari -1	Hari-2	Hari-3	Hari-4
Blanko. 100 °C	52,49	52,41	51,15	50,18
100 °C	54,28	50,70	54,16	54,29
Blanko. 121 °C	50,25	51,04	50,72	49,91
121 °C	52,96	53,55	52,54	53,33

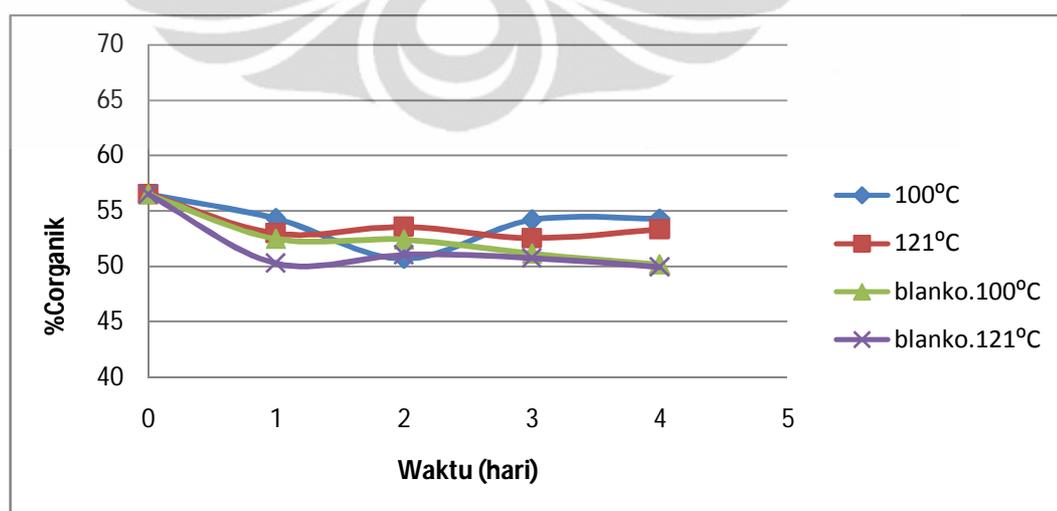
Sumber : Hasil Olahan Data (2011)

Keterangan :

- Blanko 100°C: Blanko proses hidrolisis enzimatik dilanjutkan dengan hidrolisis 100 °C
- Blanko 121°C: Blanko proses hidrolisis enzimatik dilanjutkan dengan hidrolisis 121 °C
- 100°C : Proses hidrolisis enzimatik yang dilanjutkan dengan hidrolisis 100°C
- 121°C : Proses hidrolisis enzimatik yang dilanjutkan dengan hidrolisis 121°C

Nilai C-Organik pada bahan TKKS sebesar 56,49 %. Pada hari pertama dekomposisi, untuk sampel yang dihidrolisis pada suhu 100°C mengalami penurunan nilai C-organik dari nilai bahan sebesar 54,29% pada hari pertama dan 52,49 % untuk sampel blankonya di hari pertama. Pada perlakuan blanko untuk sampel yang dihidrolisis pada suhu 100°C, nilai C-organik kian menurun pada hari kedua sebesar 52,41 %, pada hari ketiga menurun menjadi 51,15% dan pada hari ke-4 turun menjadi 50,18%. Sedangkan untuk sampel yang dilakukan penambahan enzim mengalami penurunan nilai C-organik di hari ke-2 menjadi 50,70%, dan meningkat di hari ke-3 dan ke-4 menjadi 54,16% dan 54,29%.

Sedangkan untuk sampel yang dihidrolisis pada suhu 121°C (dengan enzim dan tanpa enzim/blanko) mengalami penurunan nilai C-organik dari nilai *bahan* di hari pertama, yaitu sebesar 50,25% blanko dan 52,96% dengan penambahan enzim. Di hari ke-2, pada sampel blanko terjadi peningkatan nilai C-organik menjadi sebesar 51,04%. Namun mengalami penurunan kembali di hari ke-3 hingga ke 4 menjadi sebesar 50,72% dan 49,91%. Sedangkan untuk sampel dengan penambahan enzim, di hari ke-2 mengalami peningkatan nilai C-organik menjadi sebesar 53,55%. Namun di hari ke-3 mengalami penurunan kembali menjadi 52,54% dan meningkat di hari ke-4 menjadi 53,33%. Grafik yang menggambarkan nilai C-organik selama dekomposisi terdapat pada gambar 4.5 berikut :



Gambar 4.5 Perubahan Nilai C-Organik Selama Waktu Dekomposisi

(Hasil Olahan Data , 2011)

Pada gambar 4.5, grafik yang berwarna ungu merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai C-Organik untuk sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang mendapatkan perlakuan suhu hidrolisis 121°C dan grafik yang berwarna hijau merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai nilai C-Organik untuk sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang mendapat perlakuan suhu hidrolisis 100°C. Sedangkan grafik yang berwarna biru merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai C-Organik untuk sampel dengan penambahan enzim setelah mendapat perlakuan hidrolisis 100°C, dan Grafik yang berwarna merah merupakan grafik yang menggambarkan perubahan nilai C-Organik untuk sampel dengan penambahan enzim setelah mendapat perlakuan hidrolisis 121°C.

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa terjadi perubahan nilai C-Organik setiap harinya selama dekomposisi dilakukan. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Goyal *et al.* (2005) yang melaporkan pada jurnalnya bahwa selama pengomposan bahan organik, terjadi perubahan total kandungan Karbon-Organik (C-organik). Perubahan nilai C-Organik ini disebabkan oleh hilangnya karbon sebagai karbon dioksida (Atkinson *et al.*, 1996 pada Hasrul Satria Nur *et al.*, 2009).

Apabila dilihat pada gambar 4.5 pula, nilai C-organik memiliki kecenderungan untuk turun. Walaupun penurunan nilai C-organik yang terjadi selama dekomposisi dilakukan tidak terlalu besar terhadap nilai C-organik substrat. Perubahan nilai C-Organik yang tidak terlalu besar ini diakibatkan keberadaan senyawa lignin yang terkandung pada Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang mengakibatkan TKKS sulit untuk didegradasi.

Pada tahap enzimatik, degradasi dilakukan dengan enzim dan diinkubasi pada suhu 60°C agar kerja enzim dapat optimum dan pada suhu tersebut hanya mikroba yang bersifat termofilik saja yang mampu bertahan. Setelah didegradasi secara enzimatik kemudian sampel didegradasi dengan hidrolisis suhu. Pada gambar 4.5 menggambarkan bahwa kondisi C-organik untuk sampel yang dihidrolisis pada suhu 121 °C baik untuk blanko maupun dengan penambahan

enzim memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang dihidrolisis dengan suhu 100°C. Hal ini memperlihatkan bahwa suhu hidrolisis mempengaruhi dekomposisi. Hidrolisis pada suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat dekomposisi, karena menurut Stoker (2010) suhu yang lebih tinggi berarti molekul bergerak lebih cepat, dan lebih sering bertumbukan.

Nilai C-organik yang dimiliki substrat TKKS setelah didekomposisi selama 4 hari tersebut belum memenuhi standar SNI. Menurut standar SNI 19-7030-2004 tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestik, nilai C-organik minimum 9,8% dan maksimum 32%. Sedangkan nilai karbon organik terendah dari dekomposisi TKKS yang dilakukan sebesar 49-50%, masih dibutuhkan dekomposisi selanjutnya hingga nilai C-organik relatif stabil dan memenuhi standar SNI, serta dapat digunakan sebagai pupuk organik.

Selain nilai karbon yang berubah selama dekomposisi, nilai Nitrogen-Total (N-Total) pun berubah seiring berjalannya dekomposisi. Nilai N-Total selama dekomposisi akan tergambar dalam tabel 4.7 :

Tabel 4.7 Nilai Nitrogen-Total Selama Dekomposisi Dilakukan

N-Total (%)	Hari -1	Hari-2	Hari-3	Hari-4
Blanko. 100 °C	0,49	0,46	0,52	0,59
100 °C	0,58	0,55	0,79	0,81
Blanko. 121 °C	0,67	0,5	0,71	0,74
121 °C	0,59	0,58	0,6	0,91

Sumber : Hasil Olahan Data (2011)

Keterangan :

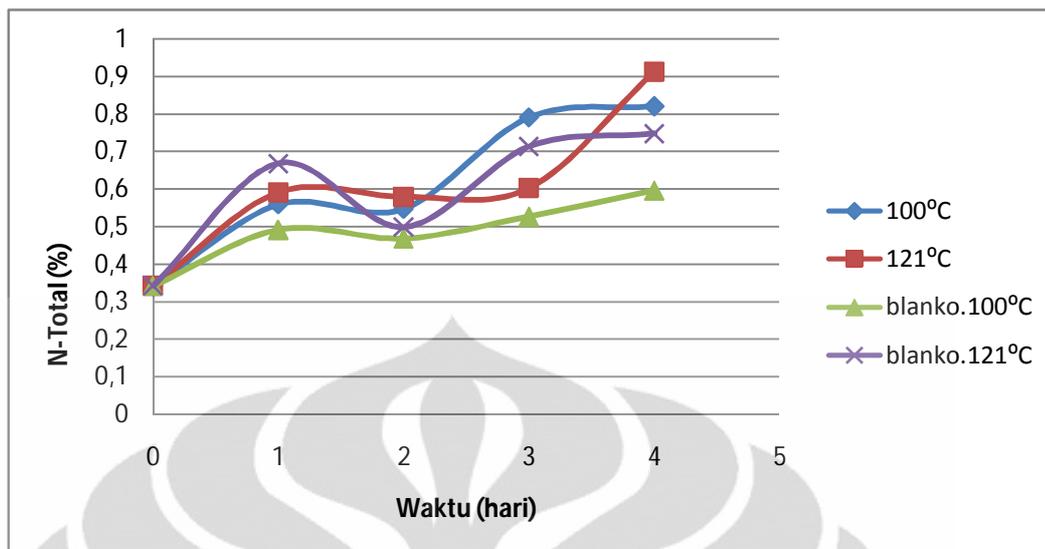
- Blanko 100°C: Blanko proses hidrolisis enzimatis dilanjutkan dengan hidrolisis 100 °C
- Blanko 121°C: Blanko proses hidrolisis enzimatis dilanjutkan dengan hidrolisis 121 °C

- 100°C : Proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan hidrolisis 100°C
- 121°C : Proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan hidrolisis 121°C

Pada seluruh sampel di hari pertama baik hidrolisis dengan suhu 100°C maupun hidrolisis dengan suhu 121°C mengalami peningkatan nilai kandungan nitrogen total terhadap kandungan nitrogen total *bahan* TKKS yang sebesar 0,34%.

Pada sampel yang dihidrolisis pada suhu 100°C, pada inkubasi hari pertama nilai nitrogen adalah sebesar 0,58% kemudian turun di hari ke-dua menjadi 0,55%. Nilai nitrogen total pada hari ke-3 kemudian meningkat kembali menjadi 0,79% dan kian meningkat di hari ke-4 menjadi 0,81%. Sedangkan pada sampel yang dihidrolisis pada suhu 121°C, pada hari pertama inkubasi memiliki nilai nitrogen total sebesar 0,59%. Kemudian pada hari ke-2 inkubasi nilai nitrogen total menurun menjadi 0,58%, dan mengalami peningkatan di hari ke-3 menjadi 0,6%. Peningkatan terus terjadi di hari ke-4 dengan nilai nitrogen total sebesar 0,91%.

Sedangkan untuk blanko pada sampel yang dihidrolisis 100°C, pada hari pertama memiliki nilai N-Total sebesar 0,49% kemudian menurun pada hari ke-2 menjadi 0,46%. Namun kemudian pada hari ke-3 mengalami peningkatan menjadi 0,52% dan terus meningkat menjadi di hari ke-4 menjadi 0,59%. Untuk blanko dengan perlakuan hidrolisis 121°C, nilai N-Total pada hari pertama sebesar 0,67%, kemudian menurun di hari ke-2 menjadi 0,5%. Kemudian meningkat kembali pada hari ke-3 menjadi sebesar 0,71% dan 0,74% pada hari ke-4. Grafik yang menggambarkan nilai Nitrogen-Total selama dekomposisi terdapat pada gambar 4.6 :



Gambar 4.6 Perubahan Nilai N-Total Selama Waktu Dekomposisi
(Hasil Olahan Data , 2011)

Pada gambar 4.6, kurva yang berwarna ungu merupakan kurva yang menggambarkan nilai N-Total dari sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang dihidrolisis pada suhu 121°C dan kurva yang berwarna hijau merupakan kurva yang menggambarkan nilai N-Total dari sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang dihidrolisis pada suhu 100°C. Sedangkan untuk kurva yang berwarna merah merupakan kurva yang menggambarkan nilai N-Total untuk sampel dengan penambahan enzim yang dihidrolisis pada suhu 121°C dan kurva yang berwarna biru merupakan kurva yang menggambarkan nilai N-Total untuk sampel dengan penambahan enzim yang dihidrolisis pada suhu 100°C.

Pada dekomposisi hari ke-2 baik itu pada perlakuan yang mengalami hidrolisis pada suhu 100°C, maupun yang mengalami hidrolisis dengan suhu 121°C terjadi penurunan nilai nitrogen total. Penurunan kandungan nitrogen total pada tahap awal dekomposisi dikarenakan terjadi kehilangan N dalam bentuk ammonia yang tergantung dari tipe bahan dan rasio C:N awal (Sanchez-Monedero *et al.*, 2001). Barulah kemudian peningkatan nilai nitrogen total terus berlangsung hingga hari ke-4.

Perubahan nilai N-Total dari hasil penelitian tersebut menunjukkan kecenderungan yang meningkat. Peningkatan kandungan N-total terjadi karena kehilangan massa yang terjadi akibat terbentuknya CO₂ dan kehilangan

kandungan air akibat evaporasi yang disebabkan panas yang terbentuk selama proses oksidasi materi organik.(Haung *et al.*, 2004 pada Kalamhdhad, 2009). Karena suhu hidrolisis yang lebih tinggi akan mengakibatkan evaporasi yang lebih besar maka apabila dianalisa dari grafik 4.4, bahwa peningkatan nilai N-total dari sampel yang mendapatkan perlakuan hidrolisis dengan suhu 121°C baik itu untuk blanko maupun sampel dengan penambahan enzim lebih besar dibandingkan dengan nilai N-Total dari sampel yang dihidrolisis pada suhu 100°C.

Hasil N-Total selama dekomposisi substrat TKKS menunjukkan bahwa nilai N-total hasil dekomposisi telah memenuhi standar SNI. Menurut standar SNI 19-7030-2004 tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestik, nilai nitrogen total minimal adalah 0,4%. Namun diperlukan penelitian lanjutan hingga nilai N-Total relatif stabil.

4.3.3 Rasio C:N

Telah dibahas sebelumnya mengenai nilai C-organik dan N-Total dari hasil dekomposisi substrat TKKS yang dilakukan selama 4 hari. Nilai yang berpengaruh pada perubahan nilai rasio C:N adalah perubahan nilai C-Organik dan N-Total. Rasio C:N substrat TKKS didapat dari hasil perbandingan antara C-organik terhadap N-total. Nilai rasio C:N selama dekomposisi dilakukan tergambar pada tabel 4.8 :

Tabel 4.8 Nilai Rasio C:N Selama Dekomposisi Dilakukan

Rasio C:N	Hari -1	Hari-2	Hari-3	Hari-4
Blanko.100°C	106 :1	111 :1	97 :1	84 :1
100 °C	92 :1	92 :1	68 :1	66 :1
Blanko. 121 °C	75 :1	102 :1	67 :1	69 :1
121 °C	89 :1	92 :1	87 :1	58 :1

Sumber : Hasil Olahan Data (2011)

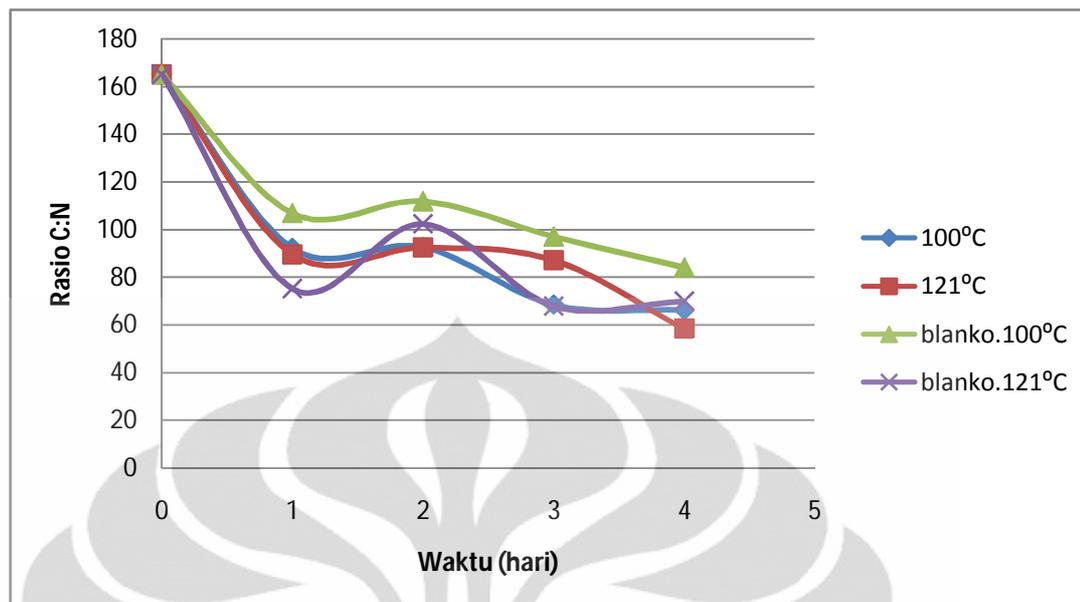
Keterangan :

- Blanko 100°C: Blanko proses hidrolisis enzimatik dilanjutkan dengan hidrolisis 100 °C

- Blanko 121°C: Blanko proses hidrolisis enzimatis dilanjutkan dengan hidrolisis 121 °C
- 100°C : Proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan hidrolisis 100°C
- 121°C : Proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan hidrolisis 121°C

Pada keseluruhan sampel di hari pertama mengalami penurunan rasio C:N yang signifikan terhadap rasio C:N *bahan* yang sebesar 165 : 1 . Untuk sampel di hari pertama dengan penambahan enzim dan di hidrolisis dengan suhu 100°C memiliki nilai rasio C:N sebesar 92 :1, sedang sampel yang di hidrolisis dengan suhu 121°C sebesar 89 :1. Kemudian untuk sampel blanko memiliki nilai rasio C:N sebesar 106 :1 untuk yang dihidrolisis pada suhu 100°C dan 75 :1 untuk yang dihidrolisis pada suhu 121°C. Seiring berjalannya dekomposisi hingga hari ke-4, sampel dengan penambahan enzim yang dihidrolisis dengan suhu 100°C mengalami sedikit peningkatan di hari ke-2 namun kemudian kian menurun di hari ke-3 sebesar 68 :1 dan 66 :1 di hari ke-4. Pada blanko yang dihidrolisis pada suhu 100°C juga mengalami penurunan nilai rasio C:N hingga hari ke-4 namun tidak sebesar penurunan rasio C:N untuk perlakuan penambahan enzim.

Untuk sampel dengan penambahan enzim yang dihidrolisis pada suhu 121°C, peningkatan rasio C:N terjadi di hari ke-2 yaitu menjadi 92 :1. Namun kembali menurun di hari ke-3 87 :1 dan di hari ke-4 sebesar 58 :1. Pada blanko yang dihidrolisis dengan suhu 121°C juga mengalami penurunan rasio C:N yang tidak sebesar penurunan rasio C:N untuk perlakuan penambahan enzim. Nilai rasio C:N selama dekomposisi tergambar dalam gambar 4.7 :



Gambar 4.7 Perubahan Nilai Rasio C:N Selama Waktu Dekomposisi
(Hasil Olahan Data , 2011)

Pada gambar 4.7, kurva yang berwarna ungu menggambarkan perubahan nilai rasio C:N untuk sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang dihidrolisis pada suhu 100°C dan kurva yang berwarna hijau menggambarkan perubahan nilai rasio C:N untuk sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang dihidrolisis pada suhu 121°C. Sedangkan untuk kurva yang berwarna merah dan biru merupakan kurva untuk sampel dengan penambahan enzim, namun yang berwarna merah untuk sampel yang dihidrolisis 121°C dan biru yang dihidrolisis 100°C.

Nilai rasio C:N yang tergambar pada gambar 4.7 terlihat memiliki kecenderungan turun selama didekomposisi dalam waktu 4 hari. Penurunan yang paling besar terjadi pada sampel yang dihidrolisis pada suhu 121°C baik untuk blanko maupun untuk sampel dengan penambahan enzim terhadap sampel yang dihidrolisis dengan suhu 100°C. Dan apabila dibandingkan antara blanko dengan sampel penambahan enzim yang dihidrolisis 121°C, sampel dengan penambahan enzim memiliki penurunan yang lebih besar. Maka dalam hal ini suhu hidrolisis dan enzim mempengaruhi jalannya dekomposisi.

Dekomposisi dalam waktu 4 hari menghasilkan penurunan rasio C:N TKKS terjadi lebih cepat yaitu dari nilai 165 :1 hingga 58 :1 untuk suhu 121°C dan 66 :1 untuk suhu 100°C. Bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh

Suhaimi dan Ong (2001), dimana pengomposan TKKS dilakukan dengan penambahan kotoran ayam dan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang dilakukan menggunakan *pile* terbuka konvensional. Menghasilkan penurunan rasio C:N dari 56:1 untuk bahan menjadi 16:1 dalam waktu 85 hari. Dengan perbandingan laju dekomposisi tersebut dapat disimpulkan dekomposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan penambahan enzim dan proses enzimatik-hidrolisis dapat mempercepat terjadinya degradasi bahan organik.

Apabila diamati lebih lanjut dari grafik di atas, penurunan rasio C:N yang paling besar terjadi di hari pertama yaitu dari 165 :1 menjadi 92 :1 untuk sampel yang dihidrolisis 100°C dan menjadi 89 :1 untuk sampel yang dihidrolisis 121°C. Hal tersebut menunjukkan adanya kemungkinan untuk memproduksi pupuk organik hanya dalam satu hari. Begitu pula yang tergambar pada penelitian yang dilakukan oleh Jordan dan Mullen (2007), mereka melakukan dekomposisi material limbah organik dengan penambahan enzim protease, selulase, ligninase, lipase, dan pektinase, dengan proses hidrolisis enzimatik hanya dalam waktu 9 jam.

Nilai rasio C:N substrat yang didekomposisi selama 4 hari memiliki kecenderungan turun, namun belum memenuhi standar SNI. Menurut standar SNI 19-7030-2004 tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestik, nilai rasio C:N minimal adalah 10 dan maksimal adalah 20. Maka untuk menghasilkan pupuk organik dengan kualitas yang sesuai dengan standar diperlukan penelitian lanjutan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, proses dekomposisi dilakukan pada substrat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan penambahan enzim selulase pada sebuah rangkaian proses persiapan, hidrolisis enzimatik dan hidrolisis suhu. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ;

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang dimanfaatkan menjadi bahan baku pupuk organik dalam penelitian ini memiliki kandungan C-organik sebesar 56,49%, N-total sebesar 0,34 %, dan rasio C:N sebesar 165 : 1.
2. Suhu inkubasi optimum berada pada suhu 60°C dimana pada suhu tersebut dekomposisi dapat berjalan lebih maksimum.
3. Konsentrasi enzim optimum yang ditambahkan pada substrat TKKS terjadi pada konsentrasi 4% dari berat kering substrat, dimana pada konsentrasi tersebut dekomposisi dapat berjalan lebih maksimum.
4. Dekomposisi pada suhu 121°C menghasilkan dekomposisi yang lebih baik daripada suhu hidrolisis 100°C, hal ini menunjukkan bahwa pada suhu hidrolisis yang lebih tinggi lebih mempercepat dekomposisi terjadi.
5. Dekomposisi dalam waktu 4 hari menghasilkan nilai pH berkisar 6-8, kadar air berkisar antara 70-80%, penurunan nilai C-Organik dari nilai bahan sebesar 56,49% menjadi 53-49%, peningkatan nilai N-Total dari nilai bahan sebesar 0,34% menjadi 0,4-0,9%, dan penurunan rasio C:N dari 165:1 untuk bahan menjadi (84-58):1. Namun hasil kompos tersebut belum dapat diaplikasikan karena belum memenuhi standar SNI 19-7030-2004 tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestik, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan agar kompos dapat diaplikasikan sebagai pupuk organik.

5.2 Saran

Kompos hasil dekomposisi substrat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang didapat dari penelitian ini belum memenuhi standar SNI 19-7030-2004

tentang spesifikasi kompos dari sampah organik domestik. Maka agar hasil dekomposisi tersebut dapat memenuhi standar dan dapat diaplikasikan sebagai pupuk organik untuk lahan perkebunan maka diperlukan penelitian lanjutan sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai dekomposisi dengan mengkondisikan rasio C:N substrat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) terlebih dahulu agar rasio C:N substrat berada dalam kondisi ideal untuk didekomposisi. Hal tersebut dilakukan dengan cara penambahan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) (POME), penambahan bahan organik seperti pupuk kandang, atau dengan penambahan pupuk NPK sebagai penambah nutrisi.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang dekomposisi substrat TKKS dengan menambahkan kultur mikrobial ditambah dengan enzim.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang dekomposisi substrat TKKS dengan penambahan jenis enzim lainnya atau mengkombinasikan enzim selulase dengan enzim lainnya.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan meneruskan waktu dekomposisi hingga kompos matang dan memenuhi kualitas pada standar SNI.
5. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai dekomposisi substrat TKKS dengan berbagai variasi seperti yang telah disebutkan sebelumnya, namun menambah parameter dekomposisi selain yang digunakan dalam penelitian ini yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin agar lebih terlihat bahwa degradasi bahan organik benar-benar terjadi pada penelitian yang dilakukan.
6. Karena pada penelitian yang dilakukan masih dalam skala laboratorium, maka penelitian ini dapat dilanjutkan hingga skala yang lebih besar dengan menggunakan alat pengomposan mekanik tertutup dengan pengaduk dan penghantar panas seperti *rotary drum composting* namun menggunakan filamen panas dengan temperatur yang dapat diatur.

DAFTAR REFERENSI

Abdelnasser, S.S.I. and I.E. Ahmed.2007. *Isolation and identification of new cellulases producing thermophilic bacteria from an egyptian hot spring and some properties of the crude enzyme*. Aust. J. Basic Applied Sci., 1: 473-478.

Diakses 2 Juni 2011 14.30 dari website :

<http://www.insinet.net/ajbas/473-478.pdf>

Aehle, Wolfgang. *Enzymes in Industry Production and Applications (3rd and completely revised ed)*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGAA, Weinheim (2007), hal. 256-257

Alexander RA. 1994. Standards and guidelines for compost use. *Biocycle*, hal. 37-41 Diakses 1 Juni 2011, dari *Biocycle* :

<http://www.alexassoc.net/articles/Compost%20Quality%20&%20Specs/Standards%20and%20Guidelines%20for%20Compost%20Use%20-%20Biocycle%20-%20December%201994.pdf>

Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2004. Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. SNI 19-7030-2004. Diakses 2 Juni 2011, dari Departemen Pekerjaan Umum:

www.pu.go.id/satminkal/balitbang/sni/buat%20web/RSNI%20CD/ABSTRAKS/Cipta%20Karya/PERSAMPAHAN/SPEKIFIKASI/SNI%2019-7030-2004.pdf

Bambang Sudrajat. 2007. Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia Masih Berpotensi Dikembangkan. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian* Vol.29, No. 2 (2007). Diakses 2 Juni 2011, dari Departemen Pertanian :

<http://www.pustaka-deptan.go.id/publikasi/wr292074.pdf>

Barrington, S., D. Choiniere, M. Trigui, and W. Knight. 2002. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Biores. Technol.* 83: 189-194.

Diakses 2 Juni 2011, dari *science direct* :

http://pustaka.istek.go.id/uploads_jurnal/2011-06/02/jurnal_expert_20110602100410.pdf

Bertoldi, M., G. Vallini, and A. Pera. 1983. *The Biology of Composting*. Waste Management Research. 1: 157-176. Diakses 3 April 2011, dari *science direct*:

http://pustaka.istek.go.id/uploads_jurnal/2011-04/04/The_biology_of_composting_A_review.pdf

Brady NC, Weil RR.2002. *The Nature and Properties of Soils*, 13th edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall. hal. 538-539

Chaplin, M.F, Bucke, C. *Enzyme Technology 1st published* (Great Britain: Cambridge University Press, 1990), hal 12-16

Crawford. J.H. 2003. *Composting of Agricultural Waste*. Biotechnology Applications and Research, Paul N, Cheremisinoff and R. P.Ouellette (ed). Hal. 68-77

Cumberland County Solid Waste Authority. 1999. *Municipal Yard Waste Composting Facility*. Cumberland County , Pennsylvania Diakses 12 April 2011 , dari . Cumberland County:

<http://www.google.co.id/url?sa=t&source=web&cd=6&ved=0CEYQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.portal.state.pa.us%2Fportal%2Fserver.pt%3Fopen%3D18%26objID%3D505401%26mode%3D2&rct=j&q=leaf%20and%20yard%20waste%20composting%20guidance%20document&ei=meajTYioKIbevWP-x8WbCg&usg=AFQjCNE2Jhb1z6Oo578NOkEgrPB2IjBboA&cad=rja>

Darmoko dan A.S. Sutarta. 2006. *Ilmu Tanah dan Agronomi*. . diakses 2 Juni 2011, dari :

http://tks/ilmu_tanah_dan_agronomi.htm

Darnoko, Z. Poeloengan & I. Anas (1993). *Pembuatan Pupuk Organik Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Buletin Penelitian Kelapa Sawit, 2 , hal 89-99

Department of Environmental Protection.2000.Leaf and Yard Waste Composting Guidance Document. Bureau of Waste Prevention. Boston. Diakses 12 April 2011, dari :

<http://www.elibrary.dep.state.pa.us/dsweb/Get/Document-72565/254-5403-100.pdf>

Deraman, M. 1993. Carbon pellets prepared from fibers of oil palm empty fruit bunches: 1.A quantitative X-ray diffraction analysis. PORIM Bull. Palm Oil Res. Inst. Malaysia 26:

Diaz, L.F. 2007. *Compost Science and Technology*. Elsevier Waste Management Series ISBN-13:9780080439600

Direktorat Jenderal Perkebunan. 2010. *Luas Areal dan Produksi Perkebunan Seluruh Indonesia Menurut Pengusahaan*. Diakses 1 Juni 2011, dari Direktorat Jendral Perkebunan :

<http://ditjenbun.deptan.go.id/cigraph/index.php/viewstat/komoditiutama/8-Kelapa%20Sawit>

Djuarnani, Nan et al.2005.*Cara Cepat Membuat Kompos*.Agromedia:Jakarta. hal 23-25

Fessenden, Ralph J dan Fessenden, Joan S. 1986. *Organic Chemistry 3rd ed.* University of Montana .Wadsworth,Inc., Belmont California 1986. hal 395-397.

Francou C, Poitrenaud M, Houot S (2005). *Stabilization of organic matter during composting: influence of process and feedstocks*. Compost Sci. Util., 13(1): 72-83. Diakses 29 April 2011, dari :

http://www.woodsend.org/pdf-files/s.houout_CSU_vol13No1.pdf

Frederick A. Bettelheim, William H.Brown, Mary K.Campbell, Shawn O. Farrel .2010. *Introduction to Organic and Biochemistry* , 7th edition. Cengage Learning. Canada. hal 348

Goyal, S., S.K. Dhull, and K.K. Kapoor. 2005. *Chemical And Biological Changes During Composting of Different Organic Wastes and Assesment Of Compost Maturity*. Biores. Tech. 96:1584-1591. Diakses 17 Maret 2011, dari *science direct*:

http://pustaka.ristek.go.id/uploads_jurnal/2011-03/17/Chemical_and_biological_changes_during_composting_of_different_organic_wastes_and_assessment_of_compost_maturity.pdf

Hasrul Satria Nur et al. 2009. *Pemanfaatan Bakteri Selulolitik dan Xilanolitik yang Potensial Untuk Dekomposisi Jerami Padi*. Jurnal Tanah Trop., Vol. 14, No. 1, 2009: 71-80 ISSN 0852-257X. Diakses 31 Desember 2011, dari Universitas Lampung :

<http://journal.unila.ac.id/index.php/tropicalsoil/article/view/17/37>

Haug, Rogert T., *The Practical Handbook of Compost Engineering* (New York: Lewish Publisher, 1993), hal. 546.

Heerden, I., C. Cronje, S.H. Swart, and J.M. Kotze. 2002. *Microbial, Chemical and Physical Aspects of Citrus Waste Composting*. Biores. Technol. 81:71-76. Diakses 2 Juni 2011, dari science direct :

http://pustaka.ristek.go.id/uploads_jurnal/2011-06/02/jurnal_expert_20110602110722.pdf

Ingham E (1999). *Making a high quality compost tea*, Part II. BioCycle. 40/4, 94.

Insam H, Riddech N, Klammer S. (2004). *Microbiology of Composting*, Springer Verlag, Berlin New York, ISBN 978-3-540-67568-6.

Iranmahboob, J., Nadim, F., Monemi, S., 2002. *Optimizing Acid-Hydrolysis: A Critical Step For Production of Ethanol From Mixed Wood Chips*. Biomass and Bioenergy, 22: 401–404. Diakses 2 Juni 2011, dari science direct :

http://pustaka.ristek.go.id/uploads_jurnal/2011-06/02/jurnal_expert_20110602112823.pdf

Isroi. 2005. *Pengomposan Limbah padat Organik*. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor . Diakses pada Tanggal 22 April 2011, dari :

http://www.ipard.com/art_perkebun/KomposLimbahPadatOrganik.pdf

Jordan, S.N dan Mullen, G.J. 2007. *Enzymatic Hydrolysis of Organic Waste Materials in a Solid-Liquid System*. Waste Management 27(2007) 1820-1828; diakses 15 Mei 2011, dari science direct :

http://pustaka.ristek.go.id/uploads_jurnal/2011-05/15/Enzymatic_hydrolysis_of_organic_waste_materials_in_a_solidliquid_system.pdf

J.Whitehurst, Robert and van Oort, Maarten. *Enzymes in food technology 2nd edition*. Blackwell Publishing. Singapore 2010.

Kalamhdhad, Ajay S dan Kazmi, A.A . 2007. *Rotary Drum Composting of Mixed Organic Waste Based on Different C/N Ratios*. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology (IITR Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management, 5 - 7 September 2007, Chennai, India. pp.258-265. Diakses 1 Juni 2011, dari :
http://www.swlf.ait.ac.th/IntlConf/Data/ICSSWM%20web/FullPaper/Session%20V%20B/5_B4%20Ajay%20Kalamhdhad_.pdf

Lee, S.M and Y.M. Koo, 2001. *Pilot-scale production of cellulose using trichoderma reesei Rut C-30 in fed-batch mode*. J. Microbiol. Biotechnol., 11: 229-233. Diakses 1 Juni 2011, dari :
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1067767>

Liang, C., K.C. Das, and R.W. McClendon. 2003. *The Influence of Temperature and Moisture Contents Regimes On The Aerobic Microbial Activity of a Biosolids Composting Blend*. Biores. Technol.86:131-137. Diakses 17 Maret 2011, dari :
http://pustaka.ristek.go.id/uploads_jurnal/2011-03/17/The_influence_of_temperature_and_moisture_contents_regimes_on_the_aerobic_microbial_activity_of_a_biosolids_composting_blend.pdf

Ministry of Agriculture and Food British Columbia.(1996). *The Composting Process*. Diakses 10 November 2010, dari Ministry of Agriculture and Food of British Columbia.
www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/publist/300Series/382500-2.pdf

Ministry of Agriculture and Food British Columbia. (1998). *Agricultural Composting Handbook 2nd Edition*. Diakses pada tanggal 22 April 2011, dari Ministry of Agriculture and Food British Columbia :

<http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/publist/300Series/382500-0.pdf>

Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzaple, M., Ladisch, M., 2005. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. *Bioresource Technol.*, 96, 673- 686. Diakses 2 Juni 2011, dari :

<http://stl.bee.oregonstate.edu/courses/ethanol/restricted/MosierETAL2005.pdf>

Nugraha, Roni. 2006. *Produksi Enzim Selulase oleh Penicillium nalgiovense SS240 Pada Substrat Tandan Sawit*. Program Studi Biokimia, Institut Pertanian Bogor. Diakses 2 Juni 2011, dari situs Institut Pertanian Bogor :

<http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/10696?show=full>

Nur Richana (2002). *Produksi dan Prospek Enzim Xilanase dalam Pengembangan Bioindustri di Indonesia*. Buletin AgroBio 5 (1) : 29-36. Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Bogor. Diakses 2 Juni 2011, dari situs Departemen Pertanian :

http://biogen.litbang.deptan.go.id/terbitan/pdf/agrobio_5_1_29-36.pdf

Oviasogie *et al.* 2010. *Oil palm composted biomass: A review of the preparation, utilization, handling and storage*. *African Journal of Agricultural Research* Vol.5(13), pp.1553-1571. Diakses 16 Oktober 2010, dari situs :

<http://www.academicjournals.org/ajar/PDF/pdf%202010/4%20Jul/Oviasogie%20et%20al.pdf>

Pace, Michael G *et al.* (1995). *The Composting Process*. Utah State University. Diakses 9 November 2010 dari Utah State University :

http://extension.usu.edu/files/publications/publication/AG-WM_01.pdf

Pasaribu, Marlina. 2010. *Pemanfaatan Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Mikoriza Sebagai Media Tumbuh Anakan Gaharu (Aquilaria malaccensis Lamk)*. Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara. Diakses 2 Juni 2011, dari situs Universitas Sumatera Utara :

<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/17594/4/Chapter%20II.pdf>

Paul D.Sachs and Richard T Luff.2002. *Ecological Golf Course Management*
John wiley&sons,Inc USA. Hal 44-45

Primantoro, Heru. 2007. *Memupuk Tanaman Sayur (cetakan X)*.Penebar Swadaya.
Jakarta 2007. Hal 2- 8

Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 2008. *Kompos Bio organik Tandan Kosong Kelapa
Sawit*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit Medan

Robert D. (2007). *The Rapid Composting Method*. University of California
Diakses 9 November 2010, dari situs :
http://vric.ucdavis.edu/pdf/COMPOST/compost_rapidcompost.pdf

Rynk R, 1992. *On-Farm Composting Handbook* . Northeast Regional Agricultural
Engineering Service Pub. No. 54. Cooperative Extension Service. Ithaca, N.Y.
Diakses 2 Juni 2011, dari Northeast Regional Agricultural Engineering :
<http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/publist/300Series/382500-24.pdf>

Rynk R, Richard TL (2001). *Commercial Compost Production Systems*. In
Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems,edited by P.J. Stofella
and B.A. Kahn. Boca Raton, FL: Lewis Publishers. Chapter 3

Sanchez-Monedero, M.A., A. Roig, C. Paredes, and M.P. Bernal. 2001. *Nitrogen
transformation during organic waste composting by the rutgers system and its
effect on PH, EC and maturity of the composting mixtures*. Biores. Technol.
78: 301-308. Diakses 17 Maret 2011, dari *science direct* :
[http://pustaka.ristek.go.id/uploads_jurnal/2011-03/17/Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH EC and maturity of the composting mixtures.pdf](http://pustaka.ristek.go.id/uploads_jurnal/2011-03/17/Nitrogen%20transformation%20during%20organic%20waste%20composting%20by%20the%20Rutgers%20system%20and%20its%20effects%20on%20pH%20EC%20and%20maturity%20of%20the%20composting%20mixtures.pdf)

Saraswati, Rasti *et al.*2006. *Organisme Perombak Bahan Organik* . Departemen
Pertanian diakses 20 November 2010 , dari situs Departemen Pertanian :
<http://balittanah.litbang.deptan.go.id/dokumentasi/buku/pupuk/pupuk10.pdf>

Setyorini, Diah *et al.* (2006). *Kompos*. Departemen Pertanian. Diakses 9 November 2010, dari situs Departemen Pertanian :

<http://balittanah.litbang.deptan.go.id/dokumentasi/buku/pupuk/pupuk2.pdf>

Sriharti dan Takiyah Salim. 2006. *Pembuatan Kompos Limbah Nenas Dengan Menggunakan Berbagai Bahan Aktivator*. Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna, LIPI Subang. Diakses 17 November 2010, dari situs LIPI : <http://jurnal.pdii.lipi.go.id/admin/jurnal/7206163168.pdf>

Rina, S Soetopo. *et al.*,(2006). *Efektivitas Proses Pengomposan Limbah Sludge IPAL Industri Kertas Dengan Jamur*. Diakses 24 April 2011, dari Balai Besar Pulp dan Kertas :

<http://www.bbpb.go.id/main/bbsfiles/vol43no2/11.Jamur.pdf>

Stoker, Stephen . 2010. *General, Organic, and Biological Chemistry* 5th Edition. Cengage Learning. United States of America.

Suhaimi M, Ong HK (2001) Composting Empty Fruit Bunches of Oil Palm. FFTC Publication. Malaysian Agric. Res. Dev. inst. Malaysia 2001-11-01. Diakses 28 Januari 2011, diakses dari :

<http://www.agnet.org/library/eb/505a/eb505a.pdf>

Sutanto, Rahman. 2002. *Pertanian Organik: Menuju Pertanian Alternatif dan Berkelanjutan*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. Hal 81-82,

Witjaksana, D. (2006). *Toward sustainable palm oil development in Indonesia*. In Proc. Inter. Oil Palm Conf. Denpasar, 19-23 Juni 2006. halaman 1-12

Lampiran 1 Penetapan Kualitas Fisik Kompos

1.1 Persiapan contoh dan kadar bahan ikutan

1.1.1 Dasar penetapan

Contoh pupuk organik diaduk hingga homogen dan diayak dengan ayakan 2 mm. Bahan yang tidak lolos ayakan merupakan bahan ikutan (plastik, kaca, kerikil dan lainlain) dipisahkan dan ditimbang. Semua analisis menggunakan contoh pupuk yang lolos ayakan 2 mm (contoh halus) kecuali kadar air contoh asal dan kadar bahan ikutan.

1.1.2 Peralatan

- Neraca analitik
- Gelas piala volume 500 ml
- Botol plastik isi 250 ml bertutup

1.1.3 Cara kerja

- Timbang teliti 100,00 g contoh pupuk asal ke dalam piala.
- Masukkan contoh ke dalam ayakan, kemudian diayak.
- Bahan yang tidak lolos ayakan, merupakan bahan ikutan, dimasukkan ke dalam gelas piala lain yang telah diketahui bobotnya.
- Timbang piala yang berisi bahan ikutan.
- Siapkan botol plastik yang telah diberi kode pengirim dan nomor laboratorium yang sesuai dengan contoh asalnya.
- Masukkan contoh pupuk halus ke dalam botol plastik ini dan tutup dengan rapat untuk analisis selanjutnya.

1.1.4 Perhitungan

Kadar bahan ikutan (%) = $W1 / W \times 100 \%$

Keterangan:

W = bobot contoh asal dalam g

W1 = bobot bahan tidak lolos ayakan 2 mm dalam g

(Lanjutan)

Faktor koreksi bahan ikutan (fki) = $(100 - \% \text{ bahan ikutan})/100$

1.1.5 Daftar Acuan

Horwitz, William (Ed.). 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th dition, Volume I, Agricultural Chemicals, Contaminants, Drugs. AOAC International, Maryland USA.
SNI 19-7030-2004.

1.2 Penetapan kadar air

1.2.1 Dasar penetapan

Air dalam contoh pupuk diuapkan dengan cara pengeringan oven pada suhu 105°C selama semalam (16 jam).

1.2.2 Peralatan

- Neraca analitik
- Botol timbang
- Oven listrik
- Desikator

1.2.3 Cara kerja

- Timbang teliti masing-masing 10,000 g contoh pupuk asal dan 5,000 g pupuk halus (<2 mm) ke dalam cawan porselin bertutup yang sudah diketahui bobotnya.
- Masukkan ke dalam oven dan dikeringkam selama semalam pada suhu 105 °C.
- Dinginkan dalam desikator dan timbang.
- Simpan contoh ini untuk penetapan kadar abu (penetapan bahan organik dengan cara pengabuan).

1.2.4 Perhitungan

Kadar air (%) = $(W - W1) \times 100/W$

(Lanjutan)

Dimana:

W = bobot contoh asal dalam gram

W1 = bobot contoh setelah dikeringkan dalam gram

100 = faktor konversi ke %

fk (faktor koreksi kadar air) = $100/(100 - \% \text{ kadar air})$

(dihitung dari kadar air contoh pupuk halus dan digunakan sebagai faktor koreksi dalam perhitungan hasil analisis selain kadar air dan bahan ikutan).

1.2.5 Daftar Acuan

Horwitz, William (Ed.). 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition, Volume I, Agricultural Chemicals, Contaminants, Drugs. AOAC International, Maryland USA.

SNI 19-7030-2004

1.3 Penetapan pH

1.3.1 Dasar penetapan

Nilai pH menunjukkan konsentrasi ion H^+ dalam larutan, yang dinyatakan sebagai $-\log[H^+]$. Peningkatan konsentrasi H^+ menaikkan potensial larutan yang diukur oleh alat dan dikonversi dalam skala pH. Elektrode gelas merupakan elektrode selektif khusus H^+ , hingga memungkinkan untuk hanya mengukur potensial yang disebabkan kenaikan konsentrasi H^+ . Potensial yang timbul diukur berdasarkan potensial electrode pembanding (kalomel atau AgCl). Biasanya digunakan satu elektrode yang sudah terdiri atas elektrode pembanding dan elektrode gelas (elektroda kombinasi).

1.3.2 Peralatan

- Botol kocok 100 ml
- Dispenser 50 ml gelas ukur-1

(Lanjutan)

- Mesin kocok
- Labu semprot 500 ml
- pH meter
- Pereaksi : Larutan *buffer* pH 7,0 dan pH 4,0

1.3.3 Cara kerja

- Timbang 10,00 g contoh pupuk halus, masukan ke dalam botol kocok, ditambah 50 ml air bebas ion.
- Kocok dengan mesin kocok selama 30 menit.
- Suspensi tanah diukur dengan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 7,0 dan pH 4,0.

1.3.4 Daftar Acuan

Horwitz, William (*Ed.*). 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition, Volume I, Agricultural Chemicals, Contaminants, Drugs. AOAC International, Maryland USA.

SNI 19-7030-2004.

Lampiran 2 Penetapan Kualitas Kimia Kompos

2.1 Penetapan kadar abu

2.1.1 Dasar penetapan

Kadar abu/sisa pijar ditetapkan dengan cara pengabuan pada suhu 550 – 600 °C, sehingga bahan organik menjadi CO₂ dan logam menjadi oksida logamnya. Bobot bahan yang hilang merupakan bahan organik yang dapat dikonversi menjadi kadar C-organik setelah dikalikan faktor 0,58.

2.1.2 Peralatan

- Cawan porselen
- Eksikator
- Neraca
- Tanur/*furnace*

2.1.3 Cara kerja

- Contoh bekas penetapan kadar air atau timbang dengan teliti 5,0000 g contoh di dalam cawan porselen dimasukkan ke dalam tanur.
- Mula-mula diabukan pada suhu 300 °C selama 1,5 jam dan selanjutnya pada suhu 550-600 °C selama 2,5 jam. Matikan tanur dan biarkan semalam.
- Dinginkan contoh dalam desikator dan timbang

2.1.4 Perhitungan

$$\text{Kadar abu (\%)} = W_2 / W \times f_k \times f_{ki} \times 100$$

$$\text{Kadar bahan organik (\%)} = (W - W_2) / W \times f_k \times f_{ki} \times 100$$

$$\text{Kadar C-organik (\%)} = \text{kadar bahan organik} \times 0,58$$

Keterangan:

W₂ = berat abu dalam g

W = berat contoh dalam g

f_{ki} = faktor koreksi bahan ikutan = (100 - % bahan ikutan)/100

f_k = faktor koreksi kadar air = 100/(100 - % kadar air)

(Lanjutan)

0,58 = faktor konversi bahan organik ke karbon

Daftar Acuan :

Horwitz, William (Ed.). 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition, Volume I, Agricultural Chemicals, Contaminants, Drugs. AOAC International, Maryland USA.

2.2 Kadar N total

2.2.1 Dasar penetapan

N-organik dan N-NH₄ yang terdapat dalam contoh didestruksi dengan asam sulfat dan selenium mixture membentuk amonium sulfat, didestilasi dengan penambahan basa berlebih dan akhirnya destilat dititrasi. nitrogen dalam bentuk nitrat diekstraksi dengan air, direduksi dengan *devarda alloy*, didestilasi dan akhirnya dititrasi.

2.2.2 Peralatan

- Neraca analitik
- *Digestion apparatus* (pemanas listrik/ *block digester* Kjeldahl therm)
- Unit destilator/labu Kjeldahl
- Titrator/buret
- Dispenser
- Erlenmeyer vol. 100 ml
- Dispenser

2.2.3 Pereaksi

- H₂SO₄ pa. 98%
- Larutan baku H₂SO₄ 0,05 N
Pipet 25 ml standar titrisol H₂SO₄ 1 N dalam labu ukur 500 ml, impitkan hingga tanda tera dengan air bebas ion.
- Asam borat 1 %
Timbang 10,00 g asam borat dalam 1000 ml air bebas ion
- Indikator conway
Timbang 0,15 g BCG + 0,1 g MM dalam 100 ml etanol 96%.

(Lanjutan)

- Selenium mixture
- NaOH 40 %

Timbang 40,00 g NaOH dalam labu ukur 100 ml, impitkan hingga tanda tera dengan air bebas ion.

2.2.4 Cara kerja

2.2.4.1 Penetapan N-organik dan N-NH₄

- Timbang teliti 0,250 g contoh yang telah dihaluskan ke dalam labu Kjeldahl/ tabung digester. Tambahkan 0,25 – 0,50 g selenium mixture dan 3 ml H₂SO₄ pa, kocok hingga campuran merata dan biarkan 2 – 3 jam supaya diperarang.
- Didestruksi sampai sempurna dengan suhu bertahap dari 150°C hingga akhirnya suhu maks 350°C dan diperoleh cairan jernih (3 –3,5 jam).
- Setelah dingin diencerkan dengan sedikit akuades agar tidak mengkristal.
- Pindahkan larutan secara kuantitatif ke dalam labu didih destilator volume 250 ml, tambahkan air bebas ion hingga setengah volume labu didih dan sedikit batu didih.
- Siapkan penampung destilat yaitu 10 ml asam borat 1 % dalam erlenmeyer volume 100 ml yang dibubuhi 3 tetes indikator conway.
- Destilasikan dengan menambahkan 20 ml NaOH 40 %. Destilasi selesai bila volume cairan dalam erlenmeyer sudah mencapai sekitar 75 ml.
- Destilat dititrasi dengan H₂SO₄ 0,05 N, hingga titik akhir (warna larutan berubah dari hijau menjadi merah jambu muda) = A ml, penetapan blanko dikerjakan = A1 ml.

2.2.4.2 Penetapan N- NH₄

- Timbang teliti 1,0000 g contoh halus ke dalam labu didih destilator, tambahkan sedikit batu didih, 0,5 ml parafin cair dan 100 ml air bebas ion. Blanko adalah 100 ml air bebas ion ditambah batu didih dan parafin cair.

(Lanjutan)

- Siapkan penampung destilat yaitu 10 ml asam borat 1 % dalam erlenmeyer 100 ml yang dibubuhi tiga tetes indikator Conway.
- Destilasikan dengan menambahkan 10 ml NaOH 40 %. Destilasi selesai bila volume cairan dalam erlenmeyer sudah mencapai sekitar 75 ml. Destilat dititrasi dengan larutan baku H_2SO_4 0,05 N, hingga titik akhir (warna larutan berubah dari hijau menjadi merah jambu muda) = B ml, blanko = B1 ml.

2.2.4.3 Penetapan N-NO₃

- Bekas penetapan di atas (N-NH₄) dibiarkan dingin, lalu tambahkan air bebas ion (termasuk blanko) hingga volume semula. Siapkan penampung destilat yaitu 10 ml asam borat 1 % dalam erlenmeyer 100 ml yang dibubuhi tiga tetes indikator Conway.
- Destilasikan dengan menambahkan 2 g *devarda alloy*, destilasi dimulai tanpa pemanasan agar buih tidak meluap. Setelah buih hampir habis, pemanasan dimulai dari suhu rendah, setelah mendidih suhu dinaikkan menjadi normal.
- Destilasi selesai bila volume cairan dalam erlenmeyer sudah mencapai sekitar 75 ml. Destilat dititrasi dengan larutan baku H_2SO_4 0,05 N, hingga titik akhir (warna larutan berubah dari hijau menjadi merah jambu muda) = C ml, blanko = C1 ml.

2.2.5 Perhitungan

- **N-organik dan N-NH₄**

$$\text{Kadar N (\%)} = (A \text{ ml} - A1 \text{ ml}) \times 0,05 \times 14 \times 100 \text{ mg contoh-1} \times \text{fk}$$

- **N-NH₄**

$$\text{Kadar N-NH}_4 \text{ (\%)} = (B \text{ ml} - B1 \text{ ml}) \times 0,05 \times 14 \times 100 \text{ mg contoh-1} \times \text{fk}$$

- **N-NO₃**

$$\text{Kadar N-NO}_3 \text{ (\%)} = (C \text{ ml} - C1 \text{ ml}) \times 0,05 \times 14 \times 100 \text{ mg contoh-1} \times \text{fk}$$

Keterangan:

A ml = ml titran untuk contoh (N-org + N-NH₄)

A1 ml = ml titran untuk blanko (N-org + N-NH₄)

B ml = ml titran untuk contoh (N-NH₄)

(Lanjutan)

B1 ml = ml titran untuk blanko (N-NH₄)

C ml = ml titran untuk contoh (N-NO₃)

C1ml = ml titran untuk blanko (N-NO₃)

14 = bobot setara N

fk = faktor koreksi kadar air = $100/(100 - \% \text{ kadar air})$

Kadar N- organik (%) = (kadar N-organik dan N-NH₄) – kadar N-NH₄

Kadar N-total (%) = kadar N-organik + N-NH₄ + N-NO₃

2.2.6 Daftar Acuan

Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney (*Eds.*). 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2- Chemical and microbiological properties*, 2nd Edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

SNI 19-7030-2004.

Lampiran 3 Hasil Pengukuran Kualitas Fisik dan Kimia Sampel

BPPT

**LABORATORIUM TEKNOLOGI PRODUKSI PERTANIAN
DEPUTI BIDANG TEKNOLOGI AGROINDUSTRI DAN BIOTEKNOLOGI
BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI**

Kawasan PUSPIPTEK, Gedung LAPTIAB, Serpong, Tangerang – Banten, 15314
Telp. : 021-7560536, 7560562 ext. 1351
Fax. : 021-7560536, ext. 122

III Hasil Uji

HASIL ANALISIS TKKS

Sampel Pertama = 14 sampel							
No	Sampel	Kadar Air (%)	pH	C (%)	N (%)	P (mg/100g)	K (ppm)
1	T1E1	17.80	6.80	56.608	0.310		922.20
2	T2E1	48.80	7.43	55.796	0.493	6.142	1003.90
3	T3E1	46.20	7.07	56.144	0.248	5.662	755.70
4	T1E2	48.80	7.21	56.144	0.401	5.502	980.00
5	T2E2	23.00	7.08	56.492	0.327	5.883	820.20
6	T3E2	46.50	7.31	56.608	0.256	5.931	857.90
7	C1E1	18.40	7.02	55.216	0.276	5.127	792.50
8	C2E1	22.50	7.23	56.144	0.453	5.481	863.20
9	C3E1	27.00	6.99	55.332	0.327	5.815	953.50
10	C1E2	19.10	7.32	56.376	0.288	5.280	848.40
11	C2E2	49.20	6.10	56.492	0.398	5.754	898.80
12	C3E2	23.50	7.13	56.028	0.260	5.355	854.90
13	T3E0	31.00	7.30	56.724	0.317	5.028	831.20
14	TKKS	0.00	6.93	56.492	0.342	4.896	1639.65
Sampel kedua = 11 sampel							
No	Sampel	Kadar Air (%)	pH	C (%)	N (%)	P (mg/100g)	K (ppm)
1	W1E1	76.80	6.73	56.50	0.332	4.902	1020.47
2	W1E2	76.60	6.83	56.02	0.421	5.402	948.45
3	W2E1	78.20	6.87	56.40	0.643	6.002	1089.35
4	W2E2	72.20	6.93	56.75	0.394	4.658	846.61
5	W3E1	85.00	6.89	56.45	0.514	6.604	1682.54
6	W3E2	80.40	6.90	56.82	0.472	7.026	1225.90
7	W4E1	79.40	6.62	56.87	0.486	7.018	1350.16
8	W4E2	78.00	6.78	56.42	0.497	6.244	1184.84
9	T3E1	82.80	6.89	56.65	0.520	8.517	1402.63
10	T3E2	78.40	6.73	55.85	0.414	6.092	1168.25
11	C3E1	80.20	6.88	56.24	0.521	6.327	1235.60
Method	Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition, Volume I	SNI 19-7030-2004. (pH H ₂ O 1:5)	Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition, Volume I	Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition, Volume I	SNI 02-3776-2005.	Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition, Volume I	

(Lanjutan)

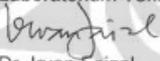
**DEPUTI BIDANG TEKNOLOGI AGROINDUSTRI DAN BIOTEKNOLOGI
BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI**

Kawasan PUSPIPEK, Gedung LAPTIAB, Serpong, Tangerang – Banten, 15314
Telp. : 021-7560536, 7560562 ext. 1351
Fax. : 021-7560536, ext. 122

III Hasil Uji

Kode	pH	Ka (%)	N (%)	C (%)	C/N	Kadar P (mg/100g)
W1EE	6.19	81.67	0.5884	54.280	92.256	
W2EE	6.48	81.96	0.5466	50.700	92.758	
W3EE	6.59	82.84	0.7902	54.166	68.545	
W4EE	7.05	83.45	0.8193	54.298	66.273	
W1EH	5.93	73.42	0.5913	52.967	89.582	
W2EH	6.21	81.91	0.5792	53.557	92.466	
W3EH	6.54	79.04	0.6028	52.545	87.175	
W4EH	6.75	80.07	0.9125	53.333	58.449	
W5EH	7.10	84.47	0.8335	52.716	63.243	8.554
BEW1	7.75	76.79	0.4912	52.490	106.856	
BEW2	7.21	80.59	0.4682	52.411	111.931	
BEW3	7.84	80.40	0.5266	51.148	97.126	
BEW4	7.55	80.88	0.5962	50.186	84.172	
BEHW1	7.95	74.87	0.6684	50.259	75.198	
BEHW2	7.08	79.00	0.4988	51.040	102.316	
BEHW3	6.98	79.81	0.7477	50.721	67.834	
BEHW4	7.43	76.89	0.7132	49.912	69.981	
BEHW5	7.52	75.43	0.6147	54.813	89.178	4.920
METODE	SNI 19-7030-2004	Official Methods of Analysis of AOAC International. 17 th edition, volume 1 (2000).	Official Methods of Analysis of AOAC International. 17 th edition, volume 1 (2000).	Official Methods of Analysis of AOAC International. 17 th edition, volume 1 (2000).		Sni 02-3776-2005

Serpong, 5 Mei 2011
Laboratorium Teknologi Produksi Pertanian


Dr. Irvan Faizal
Kepala Laboratorium

Lampiran 4 Gambar-Gambar Prosedur Pembuatan Kompos



Pencacahan TKKS



Ditimbang Seberat 200 gr



Persiapan pH Aquades



Aquadest dan Sampel TKKS



Aquadest ditambah ke TKKS



Inkubasi 15 menit



Enzim dilarutkan pada air kompos



Larutan enzim ditambah ke substrat TKKS

(Lanjutan)



Substrat TKKS diinkubasi pada *waterbath*



Hidrolisis pada *waterbath* 100°C



Hidrolisis suhu 121°C di *autoclave*



Sampel diangkat



Sampel dimasukkan ke dalam plastik kemudian di analisa