

|     |       |      |                |                           |  |
|-----|-------|------|----------------|---------------------------|--|
| JRL | Vol.7 | No.3 | Hal. 259 - 265 | Jakarta,<br>November 2011 | ISSN : 2085.3866<br>No.376/AU1/P2MBI/07/2011 |
|-----|-------|------|----------------|---------------------------|--|

## PROSES FERMENTASI PADAT-CAIR UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT

Siswa Setyahadi dan Achmadin Luthfi

Bidang Teknologi Produksi Biokatalis, Pusat Teknologi Bioindustri  
Deputi Bidang Teknologi Agroindustri dan Bioteknologi  
Gedung BPPT 2 lantai 15, Jl. MH. Thamrin no. 8, Jakarta-10340  
Email: siswa59@yahoo.com

### Abstrak

Unsur utama yang terkandung dalam limbah padat kelapa sawit yang dinamakan dengan tandan kosong kelapa sawit adalah 45-50% selulosa, 25-35% hemiselulosa dan lignin. Tandan kosong kelapa sawit 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. Limbah padat kelapa sawit semakin meningkat sejalan dengan kebutuhan minyak sawit untuk kebutuhan rumah tangga. Sedangkan tanaman kelapa sawit memerlukan pemupukan yang baik agar produktivitas kelapa sawit meningkat. Secara tradisional, pengolahan tandan kosong kelapa sawit untuk dibuat kompos, dibiarkan pada lahan terbuka yang akan membutuhkan waktu lama dan lahan yang sangat luas sesuai dengan kapasitas produksinya. Dengan menggunakan fermentasi padat-cair diharapkan akan terjadi dekomposisi yang cepat dengan proses hidrolisis enzimatik dan dilanjutkan dengan hidrolisis pada suhu yang lebih tinggi yaitu 100 oC atau 121oC. Dari hasil penelitian, dekomposisi dalam waktu 4 hari menghasilkan nilai pH berkisar 6-8, kadar air berkisar antara 70-80%, penurunan kandungan C nya dari 56% menjadi 53-49%, peningkatan nilai N-Total dari nilai bahan sebesar 0,34% menjadi 0,4-0,9%, dan penurunan rasio C dan N dari 165 menjadi berkisar antara 84 sampai 58.

**kata kunci** : tandan kosong kelapa sawit, fermentasi, kompos, padat-cair

## SOLID-LIQUID FERMENTATION PROCESS FOR SOLID WASTE PALM OIL PROCESSING

### Abstract

*The main elements contained in solid waste palm-called empty fruit bunches palm oil are 45-50% cellulose, 25-35% hemicellulose and lignin. Empty fruit bunches palm oil are used as compost feedstock in this study have a 56.49% of C-organic content, 0.34% of N-total, and 165.15 of C / N ratio. Solid waste oil palm is increasing in line with the needs of palm oil for household needs. While palm trees need a good fertilization in order to increase oil palm productivity. Traditionally, processing of empty fruit bunches palm oil to be composted, left on open land that will take a long time and vast land in accordance with its production capacity. By using solid-liquid fermentation is expected to occur with a rapid decomposition process with enzymatic hydrolysis and followed by higher temperature at 100 oC or 121oC. The result shows that, within 4 days of decomposition, a pH value between 6-8, the water content 70-80%, C content was decreased from 56% to 53-49%, increasing N-Total value start from 0, 34% to 0.9%, and decreased the C/N ratio from 165 to 58.*

**keywords** : empty fruit bunches palm oil, fermentation, compost, solid-liquid

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris dimana sektor pertanian merupakan salah satu sektor utama penghasil devisa negara dan 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 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, dan sebagian besar limbah tersebut belum diolah secara optimal. Industri minyak kelapa sawit, akan menghasilkan limbah padat yang melimpah, salah satu limbah padat atau biomassa yang dihasilkan adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), yang didapatkan setelah pemrosesan buah segar kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit.

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. Agar perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup dapat tetap terjaga, maka diperlukannya tindakan 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 TKKS sebagai bahan baku pupuk organik (PPKS, 2008). Pemanfaatan TKKS ini selain sebagai pengurangan limbah padat yang timbul akibat proses pengolahan, juga untuk mengatasi masalah kebutuhan pupuk kimia yang harganya mengalami kenaikan.

Komposting merupakan proses yang kompleks 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 secara detil (Aehle, Wolfgang, 2007).

### 1.2 Tujuan

Pada penelitian ini akan dilakukan proses pengolahan limbah padat kelapa sawit yang berupa tandan kosong secara fermentasi dengan menggunakan ekstrak kasar selulase.

## II. BAHAN DAN METODA

### 2.1 Bahan

1) Tandan kosong kelapa sawit.

Tandan kosong kelapa sawit didapatkan dari industri pengolahan minyak sawit yang ada di Medan, Sumatera Utara

2) Mikroba

Mikroba yang digunakan adalah isolat *Bacillus* sp. yang diisolasi dari kawah putih, Ciwidey, Bandung. Isolat tersebut disimpan di suhu  $-80^{\circ}\text{C}$  pada gliserol 10% (v/v) sebagai kultur simpan.

Inokulum, di-subkultur selama 16-24 jam pada media *Luria-Bertani* (LB), diinkubasi pada suhu  $37^{\circ}\text{C}$ , sampai diperoleh jumlah sel 107-109 CFU/ml.

3) Media Fermentasi

Komposisi media fermentasi untuk proses pembuatan ekstrak kasar enzim selulase oleh *Bacillus* sp. pada proses batch adalah: CMC 1% (b/v), Pepton 1% (b/v), Yeast extract 0.5% (b/v), dan NaCl 0,5% (b/v). Kondisi proses dilakukan pada pH 5; temperatur  $70^{\circ}\text{C}$ ; dengan inkubator kocok 250 rpm.

4) Persiapan TKKS

Pada tahap ini dilakukan *pretreatment* 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. Bahan baku TKKS dilakukan pengukuran rasio C:N sebelum digunakan pada percobaan ini.

5) Fermentasi padat-cair TKKS

Setelah substrat TKKS mengalami tahap persiapan berupa pencacahan, 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.

Pada tahap fermentasi padat-cair dilakukan pengamatan terhadap suhu inkubasi dan konsentrasi enzim yang ditambahkan.

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  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ , dan  $70^{\circ}\text{C}$ . Suhu inkubasi tersebut dipilih karena hasil optimasi suhu enzim selulase berada pada suhu  $70^{\circ}\text{C}$ , 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 baku untuk mengetahui suhu yang paling baik dalam dekomposisi substrat TKKS. Dekomposisi TKKS akan terjadi apabila nilai rasio C:N terhadap nilai rasio C:N bahan baku menurun.

### 2.2 Metoda

1) Analisa Hasil Dekomposisi dan Metode Pengukuran

Hasil dekomposisi diperiksa di Pusat Teknologi Budidaya Pertanian, LAPTIAB BPPT Serpong. Analisa yang dilakukan meliputi: pH; Kadar air; %C-organik; %N-total; rasio C/N.

2) Analisa protein ekstrak kasar enzim selulase

Kadar protein ekstrak kasar selulase diukur dengan metode Lowry (lowry et.al,

1954) yang dimodifikasi. Filtrat protein sebanyak 30 ml direaksikan dengan 270 ml larutan PBS (Phosphate Buffered Saline), dan 3 ml larutan Lowry, ditambahkan 100 ml reagen Folin-Ciocalteus, ukur absorbansi pada 750 nm.

### 3) Analisa aktivitas selulase

Aktivitas selulase diukur dengan metode DNS (Miller, 1959), pada suhu 37 °C selama 5 menit, absorbansi diukur pada 540 nm. Satu unit aktivitas didefinisikan sebagai jumlah enzim yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1mmol glukosa per menit pada suhu 37°C.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Karakterisasi Bahan Baku TKKS

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 1 :

Tabel 1. Nilai C-organik, N-total dan rasio C:N bahan TKKS

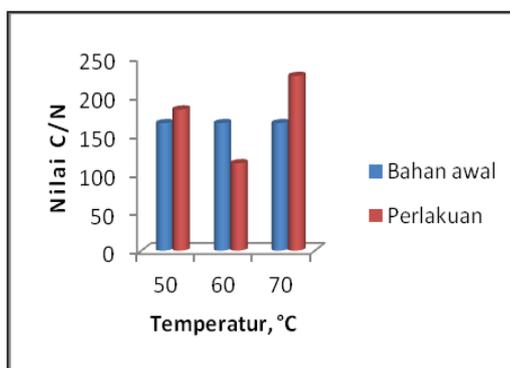
|      | C-organik, % | N-total, % | C/N |
|------|--------------|------------|-----|
| TKKS | 56,49        | 0,34       | 165 |

Rasio C/N substrat TKKS yang digunakan pada penelitian kali ini memiliki nilai sebesar 165. Nilai rasio C/N tersebut dapat dikatakan besar karena rasio C/N yang baik agar dekomposisi berjalan efisien berada dalam rentang 25 – 45 (*Ministry of Agriculture and Food British Columbia, 1998*). 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). Dekomposisi dapat berjalan efisien pada C/N yang rendah. Untuk itu, sebaiknya bahan baku dilakukan perlakuan awal. Namun karena

dalam penelitian ini melihat sejauh mana pengaruh penambahan enzim dan perlakuan yang dilakukan dalam dekomposisi TKKS yang ditunjukkan dengan penurunan C/N, maka bahan baku awal yang digunakan tidak dilakukan pengkondisian C/N terlebih dahulu.

### 3.2 Pengaruh Temperatur Inkubasi dalam Proses Hidrolisis Enzimatis

Pada kajian temperatur, sampel TKKS ditambahkan enzim pada konsentrasi yang konstan, diinkubasi dalam temperatur tertentu. Penentuan temperatur tersebut berdasarkan hasil optimasi dari enzim yang digunakan.



Gambar 1. Nilai C/N terhadap perlakuan temperatur

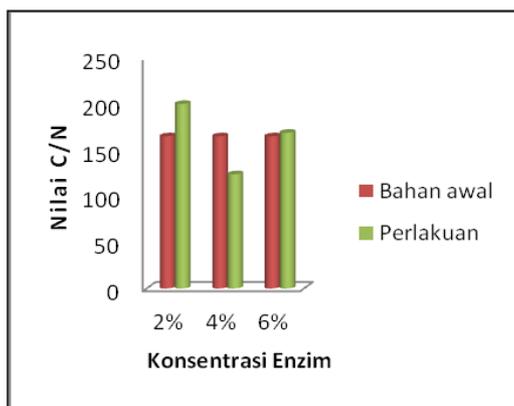
Data nilai C/N terhadap pengaruh temperatur inkubasi reaksi enzimatik dalam dekomposisi TKKS terlihat dalam gambar 1.

Pada gambar 1 di atas menunjukkan nilai C/N yang dimiliki setiap perlakuan temperatur inkubasi. Pada perlakuan suhu inkubasi 60°C, nilai C/N bahan awal lebih tinggi dibandingkan nilai C/N setelah perlakuan temperatur. Hal tersebut menggambarkan bahwa terjadinya dekomposisi pada TKKS yang telah difermentasi menggunakan selulase. Temperatur yang optimum merupakan temperatur dimana enzim dapat melakukan aktivitasnya secara maksimum, sehingga dapat melakukan degradasi bahan organik lebih aktif dibandingkan pada temperatur yang bukan optimum.

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. Apabila enzim telah mengalami inaktivasi atau tidak aktif kembali, maka enzim tidak dapat berfungsi kembali karena enzim bersifat irreversibel.

### 3.3 Pengaruh Konsentrasi Enzim terhadap Proses Hidrolisis

Pengaruh konsentrasi enzim terhadap proses hidrolisis dekomposisi TKKS dengan menambahkan enzim pada konsentrasi 2%, 4%, dan 6% yang diinkubasi dalam temperatur inkubasi optimum yang telah didapat dari tahap sebelumnya yaitu pada temperatur 60°C. Nilai C/N dari masing-masing perlakuan konsentrasi enzim digambarkan dalam gambar 2.



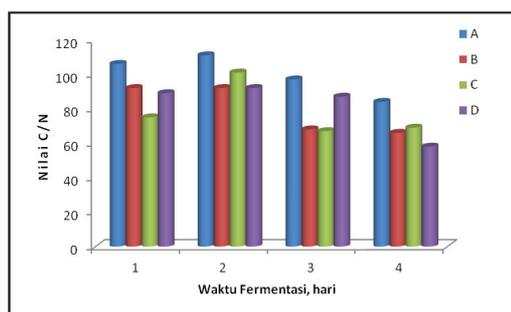
Gambar 2. Pengaruh konsentrasi enzim terhadap nilai C/N

Nilai C/N terhadap pengaruh penambahan enzim dengan konsentrasi 2% dari berat substrat adalah sebesar 200 yang meningkat dari rasio C/N TKKS sebesar 165. Berbeda pada sampel dengan penambahan enzim dengan konsentrasi 4% dari berat substrat, terjadi penurunan C/N terhadap C/N bahan awal dari sebesar 165 menjadi 123. Sedangkan pada penambahan enzim sebanyak 6% dari berat substrat didapat nilai C/N sebesar 169.

Laju reaksi enzim akan meningkat apabila konsentrasi enzim meningkat yang berakibat degradasi bahan organik akan terbentuk lebih cepat. Dari data didapatkan bahwa konsentrasi enzim optimum yang ditambahkan pada substrat adalah sebesar 2% berat substrat.

### 3.4 Nilai C/N terhadap Waktu Fermentasi

Pengujian hasil komposting selanjutnya dilakukan pengamatan nilai C-organik dan N-Total dari hasil dekomposisi substrat TKKS selama 4 hari. Nilai yang berpengaruh pada perubahan nilai nilai C/N adalah perubahan nilai C-Organik dan N-Total. Nilai C/N terhadap substrat TKKS didapat dari hasil perbandingan antara C-organik terhadap N-total. Nilai rasio C/N selama dekomposisi ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Nilai C/N terhadap lamanya waktu fermentasi. A: Hidrolisis 100°C dan tanpa penambahan enzim. B: Hidrolisis 100°C dan enzim. C: Hidrolisis 121°C dan tanpa penambahan enzim. D: Hidrolisis 121°C dan enzim.

Keseluruhan sampel di hari pertama mengalami penurunan nilai C/N yang signifikan terhadap nilai C/N bahan awal sebesar 165. Untuk sampel di hari pertama dengan penambahan enzim dan di hidrolisis dengan temperatur 100°C memiliki nilai C/N sebesar 92, sedang sampel yang di hidrolisis dengan temperatur 121°C sebesar 89. Kemudian untuk sampel blanko (tanpa

penambahan enzim) memiliki nilai C/N sebesar 106 untuk yang dihidrolisis pada temperatur 100°C dan 75 untuk yang dihidrolisis pada temperatur 121°C. Seiring berjalannya dekomposisi hingga hari ke-4, sampel dengan penambahan enzim yang dihidrolisis dengan temperatur 100°C mengalami sedikit peningkatan di hari ke-2 namun kemudian kian menurun di hari ke-3 sebesar 68 dan 66 di hari ke-4. Pada sampel blanko (tanpa penambahan enzim) yang dihidrolisis pada temperatur 100°C juga mengalami penurunan nilai C/N hingga hari ke-4 namun tidak sebesar penurunan nilai C/N untuk perlakuan penambahan enzim.

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

Dekomposisi dalam waktu 4 hari menghasilkan penurunan nilai C/N sebesar 65% dari nilai C/N bahan awal pada temperatur 121°C dan 60% untuk temperatur 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 nilai C/N sebesar 71% 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.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada PTPN IV Medan yang telah mendukung dalam pendanaan penelitian. Terima kasih penulis sampaikan

pula kepada Prof. Dr. Ir Sulistyoweni dan Hermawati Widyapratami, Fakultas Teknik, Program Studi Lingkungan, Universitas Indonesia atas supervisi dan bantuan tenaganya.

#### IV. KESIMPULAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dimanfaatkan menjadi bahan baku pupuk organik memiliki kandungan C-organik sebesar 56,49%, N-total sebesar 0,34 %, dan nilai C/N sebesar 165.

Konsentrasi enzim optimum yang ditambahkan pada substrat TKKS terjadi pada konsentrasi 2% dari berat kering substrat, dimana pada konsentrasi tersebut dekomposisi dapat berjalan maksimum.

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 nilai C/N antara 60 hingga 65. 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.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aehle, Wolfgang. 2007. *Enzymes in Industry Production and Applications (3rd and completely revised ed)*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim, hal. 256-257
- 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
- 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/komodititutama/8-Kelapa%20Sawit>
- Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr, and R.J. Rundall. 1954. Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. *J. Bio.Chem.* (193): 265 – 275.
- Miller, G. L., 1959. *Use of Dinitrosalicyclic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar*. *Analytical Chemistry* 31 (3), p.426-428
- 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>
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 2008. *Kompos Bio Organik Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit Medan
- Rina, S, Soetopo. 2006. *Efektivitas Proses Pengomposan Limbah Sludge IPAL Industri Kertas Dengan Jamur*. Diakses 24 April 2011, dari Balai Besar Pulp dan Kertas :<http://www.bbpbk.go.id/main/bbsfiles/vol43no2/11.Jamur.pdf>
- Suhaimi M. Ong HK,. 2001. *Composting Empty Fruit Bunches of Oil Palm. FFTC Publication*. Malaysian Agric. Res. Dev. inst. Malaysia.Diakses 28 Januari 2001, diakses dari: <http://www.agnet.org/library/eb/505a/eb505a.pdf>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. 2010. Jakarta. Diunduh dari <http://birohukum.pu.go.id/Peraturan/UU32-2009.pdf> pada agustus 2011
- SNI 19-7030-2004 tentang *Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik*. 2004. Jakarta