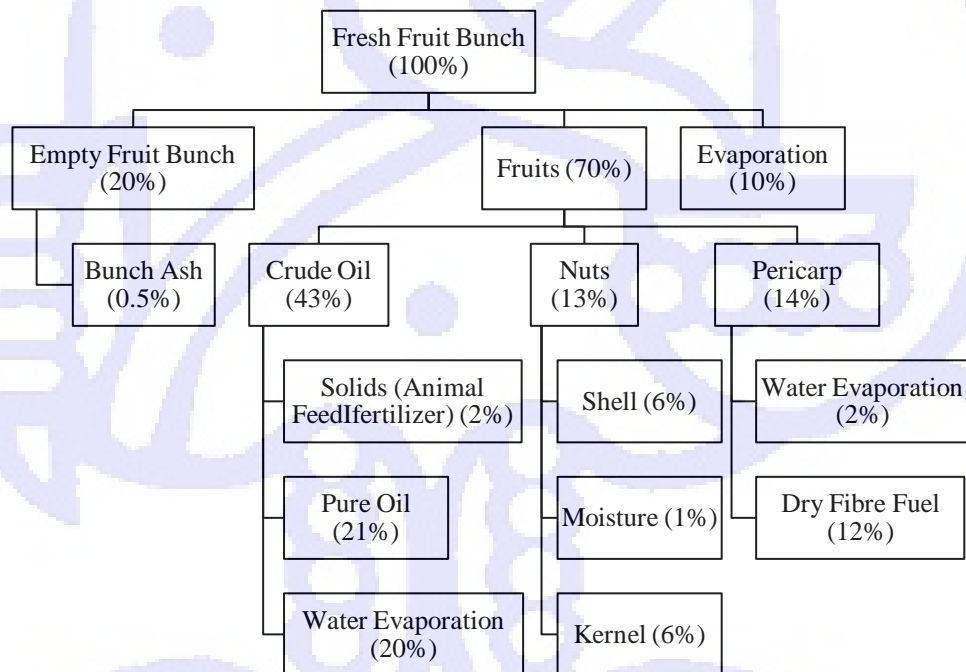


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Industri kelapa sawit menghasilkan rantai biomassa dalam jumlah yang besar, sekitar lima kali lebih besar daripada produksi minyaknya (Elbersen et al., 2005 dalam Singh et al., 2010). Industri kelapa sawit menghasilkan variasi limbah dalam jumlah besar, berupa limbah padat dan cair (Singh et al., 2010). Jenis limbah yang dihasilkan dari pengolahan minyak kelapa sawit dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. Hasil sampingan dari pengolahan minyak kelapa sawit ini paling banyak berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS).



Gambar 2. 1 Hasil Sampingan Pengolahan Minyak Kelapa Sawit (Lorestani, 2006)
Sumber: Singh R. P. et al., 2010

TKKS memiliki kadar air yang tinggi, sekitar 60-70%, sehingga sulit untuk dijadikan bahan bakar untuk *boiler*. Pada industri kelapa sawit umumnya TKKS dimanfaatkan bersama dengan *decanter cake* sebagai penyubur tanah di daerah sekitar kawasan industri. Namun, jumlah yang dimanfaatkan untuk penyubur tanah jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan jumlah TKKS yang ditimbun di daerah yang berdekatan dengan kawasan industri. TKKS memiliki tingkat degradasi yang lambat, sehingga sulit untuk dimanfaatkan (Paepatung et al., 2009 dalam Singh et al., 2010). Insenerasi TKKS menghasilkan kalium karbonat yang digunakan sebagai mulsa untuk menyuburkan tanaman (Lorestani, 2006 dalam Singh et al., 2010). TKKS merupakan bahan mentah yang cocok untuk didaur ulang karena dihasilkan dalam jumlah yang besar di daerah penghasilnya (Mohammad et al., 2011).

TKKS memiliki kandungan 45-50% selulosa, 25-35% hemiselulosa, dan 25-35% lignin (Sreekala et al., 1997; Khalil et al., 2007 dalam Mohammad et al., 2011). Selulosa adalah senyawa karbon yang terdiri lebih dari 1000 unit glukosa yang terikat oleh ikatan beta 1,4 glikosida dan dapat didekomposisi oleh berbagai organisme selulolitik menjadi senyawa C sederhana. Sedangkan lignin merupakan komponen TKKS yang sulit didegradasi. Senyawa ini merupakan polimer struktural yang berasosiasi dengan selulosa dan hemiselulosa. Lignin merupakan struktur aromatik yang dibentuk oleh sub unit fenil propanoid yang saling terikat dengan C-C atau C-O-C membentuk struktur 3D yang kompleks. Hasil degradasi senyawa lignin (fenol asam aromatik dan aromatik alkohol) oleh enzim ligninolitik dan mineralisasi menghasilkan CO₂ dan H₂O dan degradasi fenol menghasilkan senyawa humat (Widiastuti&Panji, 2007). Karena kandungannya tersebut, TKKS memiliki tingkat degradasi yang rendah dibandingkan dengan limbah domestik pada umumnya, sehingga lebih sukar membusuk (Kananam et al., 2011).

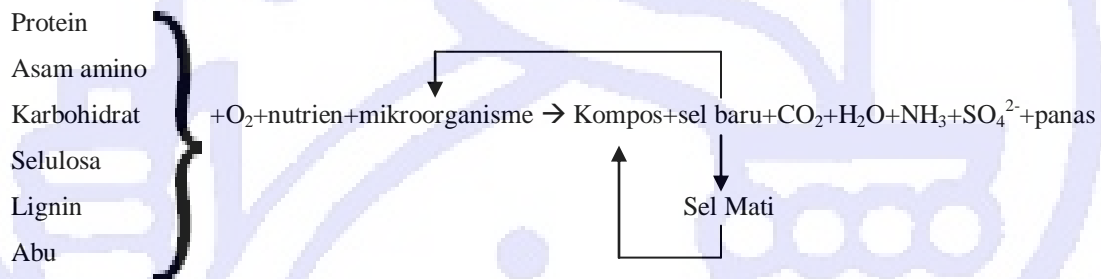
2.2. Pengomposan

Kompos adalah hasil penguraian parsial atau tidak lengkap dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artifisial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan aerobik atau anaerobik

(Modifikasi dari J.H. Crawford, 2003 dalam Isroi, 2008). Sedangkan pengomposan adalah proses dekomposisi materi organik dengan memanfaatkan keberadaan mikroorganisme yang secara alamiah ada pada materi organik dan tanah. Mikroorganisme tersebut menyediakan nutrisi dasar, oksigen, dan air untuk mempercepat proses dekomposisi (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Proses penguraian dioptimalkan sedemikian rupa sehingga pengomposan dapat berjalan dengan lebih cepat dan efisien. Teknologi pengomposan saat ini menjadi sangat penting artinya terutama untuk mengatasi permasalahan limbah organik, seperti untuk mengatasi masalah sampah di kota-kota besar, limbah organik industri, serta limbah pertanian dan perkebunan (Isroi, 2008).

Dekomposisi materi organik pada kondisi aerob terjadi menurut reaksi (Tchobanoglous, 1993 dalam Fathurrahman, 2009):



Gambar 2. 2 Persamaan Dekomposisi Aerob

Materi organik akan mengalami dekomposisi di alam akibat aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme yang bekerja umumnya berupa bakteri, *actinomycetes*, jamur, dan ragi. Untuk keberlanjutan reproduksi dan fungsinya, mikroorganisme membutuhkan energi seperti karbon (C) dan nutrisi inorganik seperti nitrogen (N), fosfor (P), sulfur (S), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), besi (Fe), natrium (Na), dan klorin (Cl). Nutrien minor yang penting di antaranya adalah *zinc* (Zn), *mangan* (Mn), *molibdenum* (Mo), *selenium* (Se), *cobalt* (Co), *copper* (Cu), nikel (Ni), dan *tungsten* (W) (Tchobanoglous, 1993 dalam Fathurrahman, 2009).

Sebagian besar kandungan karbon akan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi yang akan dibakar dalam proses respirasi menjadi CO₂. Sisanya, bersama dengan nitrogen akan digunakan oleh mikroorganisme untuk sintesa atau pembentukan sel dalam protoplasma, terutama pada pembentukan dinding sel (Tchobanoglous, 1993 dalam Fathurrahman, 2009).

Proses degradasi limbah dengan proses biologi sebaiknya berlangsung dalam kondisi kesetimbangan dinamik. Untuk menjamin kesetimbangan dinamik tersebut, maka lingkungan kehidupan mikroorganisme harus bebas dari toksik, seperti logam berat, ammonia, dan sulfida (Tchobanoglous, 1993 dalam Fathurrahman, 2009).

2.2.1. Manfaat Pengomposan

Pengomposan memiliki beberapa manfaat dalam berbagai aspek, yaitu (Isroi, 2008):

- a. Aspek ekonomi
 - Dapat menghemat biaya untuk transportasi dan penimbunan limbah.
 - Mengurangi volume atau jumlah limbah.
 - Memiliki nilai jual yang lebih tinggi daripada bahan asalnya.
- b. Aspek lingkungan
 - Mengurangi polusi udara karena pembakaran limbah.
 - Mengurangi kebutuhan lahan untuk penimbunan.
 - Memperpanjang umur TPA karena sampah yang dibuang berkurang.
- c. Aspek bagi tanaman dan tanah
 - Meningkatkan kesuburan tanah.
 - Memperbaiki struktur dan karakteristik tanah.
 - Meningkatkan kapasitas serap air tanah.
 - Meningkatkan aktivitas mikroba di dalam tanah.
 - Meningkatkan kualitas hasil panen dalam segi rasa, nilai gizi, dan jumlah panen.
 - Menekan pertumbuhan dan serangan penyakit pada tanaman.

- Meningkatkan retensi/ketersediaan hara di dalam tanah.
- Menjaga temperatur tanah agar stabil.
- Memperbaiki drainase dan porositas tanah

Di sisi lain, banyak peneliti yang berpendapat bahwa aplikasi kompos di dalam tanah dapat meningkatkan karbon organik yang tertahan di tanah dalam jangka waktu yang lebih lama (Fabrizio et al., 2008).

2.2.2. *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengomposan*

Dalam melakukan pengomposan, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu:

a. Mikroorganisme

Dekomposisi materi organik dihasilkan oleh aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme tersebut berkembang biak dengan cepat pada materi organik. Mikroorganisme kemudian memanfaatkan materi organik tersebut sebagai sumber nutrisi dan menghasilkan panas, karbon dioksida, dan kompos selama proses dekomposisi berlangsung (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

b. Ukuran Partikel

Selama proses dekomposisi, aktivitas mikroba terjadi pada daerah permukaan materi organik. Ukuran partikel yang semakin kecil akan menghasilkan luas permukaan per unit volume yang lebih besar, sehingga aktivitas biologis dapat terjadi (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Nutrisi pada bahan yang dikomposkan akan lebih dapat terakses bagi mikroorganisme ketika bahan berukuran kecil. Ukuran partikel dari bahan kompos yang kecil akan menghasilkan aktivitas biologi yang lebih besar dan meningkatkan kemampuan dekomposisi. Hal ini disebabkan karena kontak antara mikroorganisme dengan bahan kompos meningkat (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Pencacahan materi organik dapat meningkatkan luas permukaan yang tersedia untuk aktivitas biologi dan meningkatkan kecepatan dekomposisi. Karena kecepatan

dekomposisi meningkat, maka kebutuhan oksigen dan aerasi pun akan meningkat pula. Ukuran partikel yang lebih kecil akan menghasilkan pemadatan pada kompos yang dapat membatasi aliran oksigen dan menghasilkan keadaan anaerob pada tumpukan kompos, jika aerasi tidak tercukupi (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

c. Kadar Air

Aktivitas mikroorganisme terjadi pada lapisan dari kadar air pada permukaan materi organik. Kadar air dibutuhkan untuk menghancurkan nutrisi yang dimanfaatkan oleh mikroorganisme dan menyediakan lingkungan yang cocok untuk pertumbuhan populasi mikroba. Kadar air di bawah 40% membatasi ketersediaan nutrisi dan menghambat perkembangan populasi mikroba. Kadar air di atas 60% akan menghambat aliran oksigen dan dapat menyebabkan kondisi anaerob pada tumpukan kompos (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Menurut Baharuddin et al. (2009) dalam Yahya et al. (2010), kadar air yang direkomendasikan untuk pengomposan berkisar antara 50-60%. Meskipun demikian, kadar air dengan rentang 60-75% diakui oleh Liang dan Das McClendon (2003) dalam Yahya et al. (2010) sebagai rentang untuk meningkatkan aktivitas mikroba.

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.

d. Ketersediaan Oksigen

Pengomposan secara aerob membutuhkan aliran oksigen untuk mendukung keberjalanan prosesnya. Agar dekomposisi materi organik berjalan dengan cepat dibutuhkan oksigen untuk dapat mengubah limbah padat menjadi kompos. Jika ketersediaan oksigen menurun hingga di bawah 5%, mikroorganisme aerobik yang dalam aktivitasnya membutuhkan oksigen akan mati dan digantikan dengan mikroorganisme anaerobik yang tidak membutuhkan oksigen. Mikroorganisme anaerobik memiliki efisiensi kerja yang lebih kecil dan menghasilkan tingkat

dekomposisi yang lebih rendah daripada mikroorganisme aerobik. Dalam keadaan anaerobik, mikroorganisme akan menghasilkan metan, amoniak, dan hidrogen sulfida yang menghasilkan bau busuk yang menyengat (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Jika ketersediaan oksigen (paling sedikit 5%) tercukupi selama pengomposan, maka bau yang mungkin timbul dapat dihindari. Ketersediaan oksigen yang memadai dan kondisi aerob harus terjaga selama pengomposan (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Pembalikan dan pengadukan tumpukan kompos dapat menyalurkan oksigen ke dalam tumpukan. Penyediaan oksigen secara mekanis juga dapat dilakukan. Tumpukan kompos harus memiliki cukup ruang kosong yang dapat memastikan adanya pergerakan oksigen dari atmosfer dapat memasuki tumpukan dan karbon dioksida serta gas lain yang diemisikan dapat dilepas ke udara (USEPA, 1995 dalam Fathurrahman, 2009).

Aerasi secara alami akan terjadi pada saat terjadi peningkatan temperatur pada kompos yang menyebabkan udara hangat keluar dan udara yang lebih dingin akan masuk ke dalam tumpukan kompos. Aerasi ditentukan oleh porositas dan kandungan air dari bahan yang dikomposkan. Tiga cara untuk dapat menyediakan oksigen selama proses pengomposan adalah dengan cara aerasi secara mekanis, *convective air flow*, dan dengan pembalikan tumpukan secara manual (Epstein, 1997).

e. Temperatur

Pada awal proses pengomposan, temperatur akan meningkat secara periodik sampai kemudian mengalami penurunan ketika aktivitas mikroba pun mulai menurun. Mikroorganisme menghasilkan panas ketika proses dekomposisi materi organik berlangsung. Panas yang dihasilkan sebagian besar dipertahankan pada bahan pengomposan sebagai hasil dari isolasi tumpukan kompos atau sistem windrow. Kondisi ini menghasilkan peningkatan temperatur yang berpengaruh terhadap komposisi dari populasi mikroorganisme. Temperatur optimum untuk pengomposan yang efisien berada pada rentang 38-60 °C. Untuk dapat menghancurkan bakteri

patogen, temperatur pengomposan harus dijaga pada angka 55 °C selama paling tidak tiga hari di awal pengomposan (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Temperatur merupakan indikator terbaik untuk mengetahui tingkat dekomposisi yang terjadi di dalam tumpukan kompos. Terdapat dua jenis mikroorganisme yang aktif dalam pengomposan aerob. Pada temperatur di atas pembekuan, mikroorganisme mesofilik bekerja yang menyebabkan peningkatan temperatur pada kompos. Pada temperatur di atas 43 °C, populasi mikroorganisme termofilik akan melebihi populasi mikroorganisme mesofilik dan dapat meningkatkan kemampuan dekomposisi. Jika temperatur melebihi 60 °C, tingkat dekomposisi akan menurun dengan cepat karena mikroorganisme mesofilik dan termofilik mati atau berada dalam bentuk tidak aktif (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Temperatur yang tidak lagi berada pada rentang yang efisien (38-60 °C) dikarenakan ketersediaan oksigen menurun hingga di bawah 5% atau kadar air berada pada keadaan yang tidak optimal (tidak terlalu tinggi dan juga tidak terlalu rendah) (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

f. pH

Kontrol terhadap pH merupakan salah satu parameter yang paling penting dalam mengevaluasi stabilitas mikroorganisme yang dapat hidup dalam tumpukan kompos. Selama proses pengomposan nilai pH akan bervariasi antara 6-8 (USEPA, 1995 dalam Fathurrahman, 2009). Bahan baku yang akan dikomposkan dapat memiliki pH yang bervariasi. Parameter pH pada pengomposan menentukan jenis mikroba yang dapat berperan dalam mendegradasi materi organik. Selama pengomposan berlangsung, tumpukan kompos akan berada pada keadaan asam saat awal proses dan kemudian kembali ke keadaan netral karena mendekati kondisi stabil di akhir proses. Dekomposisi materi organik yang optimum terjadi pada rentang pH 6-8 (Department of Environmental Protection Boston, 2000). Jika pH terlalu tinggi, nitrogen akan diubah menjadi amoniak. Jika pH di bawah 6, mikroorganisme akan mulai mati dan proses dekomposisi menjadi lambat.

Jeris dan Regan (1973) dalam Epstein (1997) menemukan bahwa pengomposan optimum yang dapat dilakukan oleh mikroba termofilik terjadi pada pH 7.5-8.5. Jika terjadi kekurangan pasokan udara, maka kondisi anaerob akan terjadi sehingga pH akan turun sampai 4.5.

g. Rasio C/N

Rasio C/N erat kaitannya dengan kandungan nutrisi yang ada di dalam kompos. Nutrisi yang berperan utama dalam proses pengomposan adalah karbon dan nitrogen. Besarnya rasio dari C/N akan mempengaruhi proses pengomposan dan produk akhir kompos yang dihasilkan. Parameter yang penting dalam proses pengomposan adalah kandungan karbon organik yang tersedia untuk mikroba, bukan total karbon dari bahan. Selama proses pertumbuhan mikroba, kira-kira dibutuhkan 25-30 unit C untuk setiap unit N (University of California, 1953; Gotass, 1956; Waksman, 1938 dalam Epstein, 1997).

Ketersediaan dan komposisi nutrisi dalam bentuk karbon dan nitrogen dapat menjadi faktor pembatas dalam pengomposan. Mikroorganisme membutuhkan karbon sebagai sumber energi, dan nitrogen untuk pembentukan protein agar mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang biak. Selama aktivitas mikroba berlangsung, proses respirasinya akan melepaskan CO₂ ke atmosfer. Selama proses ini berlangsung rata-rata dari CO₂ akan menurun sebagai hasil dari penurunan aktivitas mikroba dan penurunan dari jumlah karbon yang tersedia. Tingkat dekomposisi dalam pengomposan bergantung pada keseimbangan karbon dan nitrogen pada bahan yang akan dikomposkan. Untuk dekomposisi yang cepat, rasio C/N yang ideal adalah sekitar 30. Rasio tersebut menggambarkan 30 bagian karbon berbanding dengan 1 bagian dari nitrogen dalam satuan berat (Department of Environmental Protection Boston, 2000).

Dalam proses pengomposan, 2/3 dari karbon akan digunakan sebagai sumber energi bagi pertumbuhan mikroorganisme dan 1/3 lainnya akan digunakan untuk pembentukan sel bakteri. Rasio C/N yang efektif untuk proses pengomposan adalah 25-50. Rasio C/N yang rendah pada bahan baku yang akan dikomposkan dapat

menyebabkan penguapan nitrogen untuk membentuk ammonia. Hal ini dapat terjadi pada kondisi alkali. Pada rasio C/N sebesar 50, proses pengomposan akan berlangsung lambat karena pertumbuhan pesat dari sel mikroba tidak diiringi dengan ketersediaan nitrogen yang cukup untuk kehidupan sel (Bishop and Godfrey, 1983 dalam Epstein, 1997). Cappaert et al. (1975) dalam Epstein (1997) menemukan bahwa penambahan dari pupuk yang mengandung mineral N dapat meningkatkan kemampuan dekomposisi. Penambahan N optimum terjadi berkisar antara 0.5-0.8% tergantung dari kelembaban udara. Cappaert et al. (1976) dalam Epstein (1997) menemukan bahwa jumlah N yang dibutuhkan untuk penggunaan oksigen maksimum bervariasi tergantung jenis dari bahan baku yang akan dikomposkan. Perubahan dari konsentrasi nitrogen bervariasi tergantung dari periode aerasi dan rasio *bulking agent* selama proses pengomposan (Bishop and Godfrey, 1983 dalam Epstein, 1997).

2.3. Metode Pengomposan

Metode atau teknologi pengomposan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok berdasarkan tingkat teknologi yang dibutuhkan, yaitu (Isroi, 2008):

- a. Pengomposan dengan teknologi rendah (*Low-Technology*)
- b. Pengomposan dengan teknologi sedang (*Mid-Technology*)
- c. Pengomposan dengan teknologi tinggi (*High-Technology*)

2.3.1. Pengomposan dengan Teknologi Rendah

Metode pengomposan yang termasuk kelompok ini adalah *Windrow Composting*. Kompos ditumpuk dalam barisan tumpukan yang disusun sejajar. Tumpukan secara berkala dibolak-balik untuk meningkatkan aerasi, menurunkan suhu apabila suhu terlalu tinggi, dan menurunkan kelembaban kompos. Teknik ini sesuai untuk pengomposan skala yang besar. Lama pengomposan berkisar antara 3 hingga 6 bulan, yang tergantung pada karakteristik bahan yang dikomposkan.



Gambar 2. 3 Contoh Pengomposan dengan Teknik *Windrow*

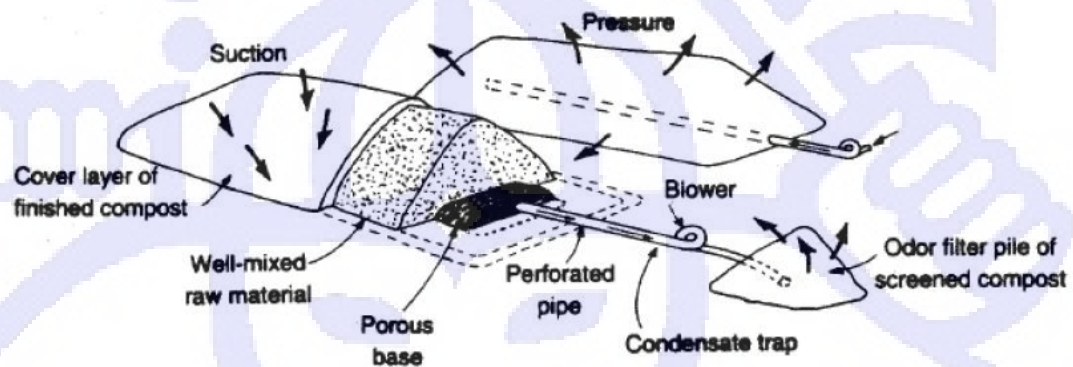
Sumber: Isroi, 2008

2.3.2. *Pengomposan dengan Teknologi Sedang*

Terdapat beberapa metode dalam pengomposan dengan teknologi sedang. Metode-metode tersebut adalah sebagai berikut:

a. *Aerated Static Pile*

Pada sistem ini, suplai oksigen dari udara bebas dimasukkan dari bagian bawah tumpukan dengan menggunakan blower untuk menginjeksi udara pada timbunan kompos dengan ketinggian 2-2.5 m. Materi kompos dibiarkan terdekomposisi secara alamiah oleh kegiatan bakteri yang menghasilkan panas pada tumpukan kompos. Panas terbentuk selain untuk membunuh bakteri patogen juga untuk membantu proses perbaikan dan pengeringan secara perlahan. Teknik ini mempersingkat pengomposan hingga 3-5 minggu.



Gambar 2. 4 *Aerated Static Pile*

Sumber: Isroi, 2008

b. *Aerated Compost Bin*

Metode pengomposan ini dilakukan di dalam bak-bak yang pada bagian bawahnya diberi aerasi. Aerasi juga dilakukan dengan menggunakan pompa udara atau *blower*. Seringkali ditambahkan pula cacing (vermikompos). Lama pengomposan kurang lebih 2 – 3 minggu dan kompos akan matang dalam waktu 2 bulan.



Gambar 2. 5 *Aerated Compost Bin*

Sumber: Isroi, 2008

2.3.3. *Pengomposan dengan Teknologi Tinggi*

Pengomposan ini menggunakan peralatan yang dibuat khusus untuk mempercepat waktu pengomposan. Terdapat panel-panel untuk mengatur kondisi pengomposan dan lebih banyak dilakukan secara mekanis. Beberapa contoh pengomposan dengan teknologi tinggi ini, yaitu:

a. *Rotary Drum Composter*

Metode ini menggunakan drum berputar yang dirancang khusus untuk proses pengomposan. Bahan-bahan yang akan dikomposkan dicacah dan dicampur pada saat dimasukkan ke dalam drum. Drum akan berputar untuk mengaduk dan memberi aerasi pada kompos.



Gambar 2. 6 *Rotary Drum Composter*

Sumber: Isroi, 2008

b. *Box/Tunnel Composting System*

Pengomposan dilakukan dalam kotak atau bak skala besar. Bahan-bahan yang akan dikomposkan dicacah dan dicampur secara mekanik. Tahap-tahap pengomposan

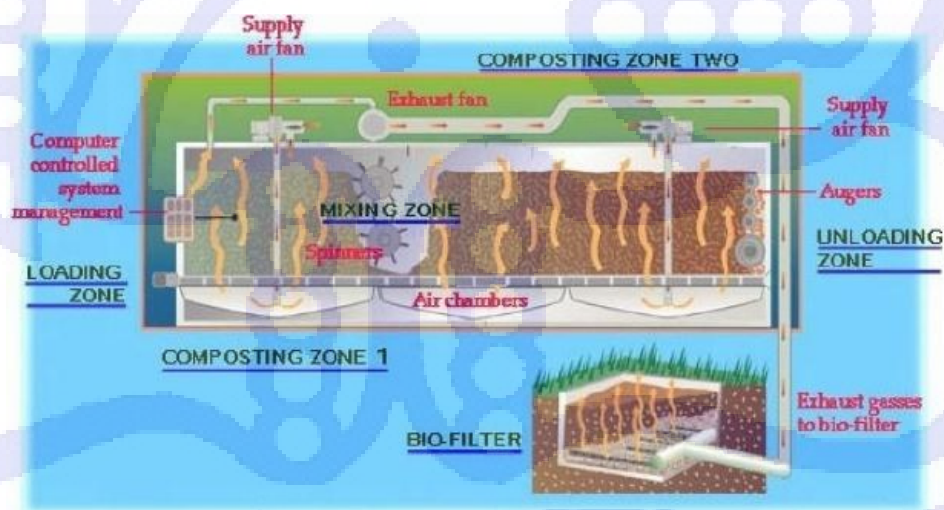
berjalan di dalam beberapa bak sebelum akhirnya menjadi kompos yang telah matang.

Sebagian proses dikontrol dengan menggunakan komputer. Bak pengomposan dibagi menjadi dua zona, zona pertama untuk bahan yang masih mentah dan selanjutnya diaduk secara mekanik dan diberi aerasi. Kompos akan masuk ke bak zona ke dua dan proses pematangan kompos dilanjutkan.



Gambar 2. 7 *Box/Tunnel Composting System*

Sumber: Isroi, 2008



Gambar 2. 8 Skema Pengomposan pada *Box/Tunnel Composting System*

Sumber: Isroi, 2008

Setiap metode pengomposan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Hal tersebut dapat terlihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Perbandingan Sistem Pengomposan Konvensional dan Modern (Dept PU, 1989 dalam Fathuttahman, 2009)

Metode	Kelebihan	Kekurangan
<i>High and Medium Rate</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pengomposan lebih cepat • Volume sampah yang terbangun berkurang 	<ul style="list-style-type: none"> • Memerlukan peralatan yang lebih banyak dan kompleks • Biaya investasi mahal
<i>Low Rate</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak memerlukan banyak peralatan • Sesuai untuk sampah yang banyak mengandung unsur organik • Volume sampah yang terbangun berkurang • Biaya investasi murah 	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu perawatan yang baik dan kontinu • Proses pengomposan lebih lama • Memerlukan tenaga yang lebih banyak

2.4. Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit

Masalah timbunan limbah padat yang dihasilkan industri mengalami peningkatan di seluruh dunia. Sebelum adanya era industrialisasi, hasil produksi dan dekomposisi materi organik masih dapat berjalan secara alamiah dalam keadaan seimbang. Proses dekomposisi tidak hanya penting untuk mencegah akumulasi bahaya dari materi organik, tetapi juga penting untuk proses daur ulang nutrisi dan materi organik itu sendiri (Mohammad et al., 2011).

Pengomposan TKKS merupakan cara yang dapat dilakukan untuk mengubah tandan yang dalam ukuran besar menjadi produk yang bernilai dan dapat dikendalikan untuk kemudian diaplikasikan terhadap tanaman (Mohammad et al., 2011). Material lain yang sering ditambahkan dalam pengomposan adalah kotoran ayam dan limbah cair kelapa sawit. Limbah cair kelapa sawit memiliki kandungan nutrisi yang tinggi (Zakaria et al., 1993 dalam Mohammad et al., 2011).

Pengomposan TKKS dengan tambahan kotoran kambing, sapi, atau ayam dipelajari oleh Thambirajah et al. (1995) dalam Mohammad et al. (2011) pada beberapa variasi yang berbeda rasio C/N nya. Tingkat pemanfaatan materi selulosa ditunjukkan oleh hubungan yang positif dengan peningkatan nitrogen (dalam bentuk NH_4) dari kompos. Hamdan et al. (1998) dalam Mohammad et al. (2011) mempelajari bahwa dekomposisi TKKS pada perkebunan kelapa sawit dimana TKKS hanya ditimbun sebagai mulsa pada permukaan tanah adalah sebesar 30, 60, dan 90 m/ha/tahun. TKKS diketahui akan terdekomposisi dengan sempurna setelah aplikasi selama 10 bulan. Penelitian lain dilakukan oleh Suhaimi dan Ong (2001) dalam Mohammad et al. (2011) yang mengamati pengomposan TKKS pada sistem pengomposan terbuka dan tertutup. TKKS, limbah cair kelapa sawit dan kotoran ayam merupakan bahan yang digunakan dalam pengomposan dan menghasilkan aktivitas biologi yang tinggi. Pengomposan pada sistem terbuka berlangsung lebih cepat daripada sistem tertutup. Rasio C/N 16 dapat dicapai selama 50 hari oleh pengomposan terbuka dan 85 hari oleh pengomposan tertutup.

Pengomposan TKKS dengan penambahan limbah cair kelapa sawit dilakukan di Medan, Indonesia. Selama pengomposan, limbah cair segar ditambahkan (berdasarkan tingkat evaporasi) untuk menyeimbangkan tingkat evaporasi yang tinggi dari TKKS. Selama proses pembusukan yang berlangsung 12 minggu, kandungan karbon (dalam berat kering) menurun sebesar >60%, volume dan massa berkurang sekitar 50%, serta rasio C/N yang semula 50 menurun menjadi 15 di akhir pengomposan (Schuchardt et al., 2002 dalam Mohammad, 2011). Kabbashi et al (2006) dalam Mohammad et al. (2011) mempelajari pengomposan dengan substrat terpilih, limbah cair kelapa sawit, TKKS, serta tepung terigu sebagai pembantu substrat dalam bio-reaktor. *P. chrysosporium*, *T. harzianum*, *A. niger* (A 106, S 101), dan *Penicillium* yang terisolasi dari limbah cair kelapa sawit digunakan untuk membantu pengomposan agar lebih efektif. Pengomposan dilakukan selama dua bulan. Rasio C/N dan *germination index* (GI) yang dapat dicapai selama pengomposan adalah sebesar 17 dan 95%. Yahya et al. (2010) mempelajari tentang pengomposan TKKS yang dicampur dengan lumpur dari pengolahan kelapa

sawit serta ditambahkan limbah cair kelapa sawit. Pembalikan dilakukan selama pengomposan berlangsung. Penambahan lumpur pada kompos dapat mempercepat pengomposan TKKS. Setelah 51 hari pengomposan, kompos TKKS dengan penambahan lumpur memiliki rasio C/N 18.65, sedangkan kompos TKKS tanpa lumpur memiliki rasio C/N yang lebih tinggi, yaitu 28.96.

2.5. Kualitas Kompos

Stabilitas dan kematangan kompos adalah istilah yang sering digunakan untuk menentukan kualitas kompos. Stabil menunjukkan kondisi kompos yang sudah tidak lagi mengalami dekomposisi dan hara tanaman secara perlahan (*slow release*) dikeluarkan ke dalam tanah. Stabilitas sangat penting untuk menentukan potensi ketersediaan hara di dalam tanah atau media tumbuh lainnya (Isroi, 2008). Dengan demikian, ketika kandungan hara dalam kompos, seperti karbon organik dan nitrogen organik dalam kompos sudah tidak lagi terdekomposisi, maka kompos tersebut dikatakan stabil. Sedangkan kematangan adalah tingkat kesempurnaan dalam proses pengomposan. Berikut diberikan cara sederhana untuk mengetahui tingkat kematangan kompos (Isroi, 2008):

a. Bau

Kompos yang sudah matang berbau seperti tanah dan harum, meskipun kompos dari sampah kota. Apabila kompos tercium bau yang tidak sedap, berarti terjadi fermentasi anaerobik dan menghasilkan senyawa-senyawa berbau yang mungkin berbahaya bagi tanaman. Apabila kompos masih berbau seperti bahan mentahnya berarti kompos belum matang.

b. Warna Kompos

Kompos matang berwarna coklat kehitam-hitaman. Apabila kompos masih berwarna hijau atau warnanya mirip dengan bahan mentahnya berarti kompos tersebut belum matang.

c. Penyusutan Volume

Terjadi penyusutan volume kompos seiring dengan tingkat kematangannya. Besarnya penyusutan tergantung pada karakteristik bahan mentah dan tingkat kematangan kompos. Penyusutan berkisar antara 20-40 %. Apabila penyusutannya masih kecil atau sedikit, kemungkinan proses pengomposan belum selesai dan kompos belum matang.

d. Tes kantong plastik

Contoh kompos diambil dari bagian dalam tumpukan. Kompos kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik, ditutup rapat, dan disimpan pada ruangan dengan temperatur ruang selama kurang lebih satu minggu. Apabila setelah satu minggu kompos berbentuk baik, tidak berbau atau berbau tanah berarti kompos telah matang.

e. Tes perkecambahan

Mengaplikasikan kompos terhadap benih kecambah. Ketika benih mulai berkecambah dalam waktu 5-7 hari kemudian dibandingkan banyaknya kecambah yang tumbuh. Kompos yang matang ditunjukkan oleh banyaknya benih yang berkecambah.

f. Temperatur

Temperatur kompos yang sudah matang akan mendekati dengan temperatur awal pengomposan. Temperatur kompos yang masih tinggi, sekitar di atas 50 °C, menandakan pengomposan masih berlangsung aktif.

g. Kadar air

Kadar air dari kompos yang telah matang berkisar pada rentang 55-65%.

Untuk mengetahui kualitas kompos yang dihasilkan, maka dibutuhkan standar untuk dijadikan pembanding terhadap parameter-parameter yang mempengaruhi kualitas kompos. Standar yang digunakan adalah SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik yang dapat dilihat pada bagian lampiran dan standar kualitas kompos dari WHO (Gotaas, 1956).

Tabel 2. 2 Standar Kualitas Kompos menurut WHO

No.	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1.	Materi Organik	%	25	50
2.	Karbon	%	8	50
3.	Nitrogen (N)	%	0.4	3.4
4.	Fosfor (P_2O_6)	%	0.3	3.5
5.	Potasium (K_2O)	%	0.5	1.8
6.	Abu	%	20	65
7.	Kalsium	%	1.5	7

2.6. Germination Index

Evaluasi terhadap toksisitas kompos dengan menggunakan pengujian biologis dilakukan untuk melakukan proses seleksi terhadap bahan pengomposan apa saja yang layak untuk diaplikasikan di lahan pertanian (Kapanen, 2001; Araujo&Monteiro, 2005 dalam Mitelut&Popa, 2011).

Fitotoksisitas adalah sifat yang menunjukkan potensi kompos untuk menimbulkan efek racun pada tanaman yang ditandai dengan pertumbuhan tidak normal setelah kompos tersebut diaplikasikan. Fitotoksisitas sebelumnya pernah dikaitkan dengan kompos yang belum matang dan penurunan asam organik yang dihubungkan dengan pertumbuhan tanaman yang tidak berkembang (Brinton&Trankner dalam Mitelut&Popa, 2011).

Perkecambahan dan uji pertumbuhan tanaman (bioassay) adalah teknik yang paling mungkin digunakan untuk mengevaluasi fitotoksisitas pada kompos (Kapanen,

2001 dalam Mitelut&Popa, 2011). Terdapat banyak variasi di antara bioassay dan spesies tanaman. Fuentes et al. (2004) dalam Mitelut&Popa (2011) meneliti bahwa pengukuran kecambah sudah dianggap kurang sensitif daripada pengukuran panjang akar ketika menggunakan bioassay untuk mengevaluasi fitotoksisitas pada kompos.

Menurut Kapustaka (1997) dan Arujo&Monteiro (2005) dalam Mitelut&Popa (2011), bioassay dengan menggunakan kecambah memiliki sensitivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan substansi toksik lainnya, karena banyak bahan kimia yang mungkin tidak terabsorpsi oleh benih kecambah sehingga kebutuhan nutrisi internal dari material penyimpan benih tercabut dan terisolasi dari lingkungan.

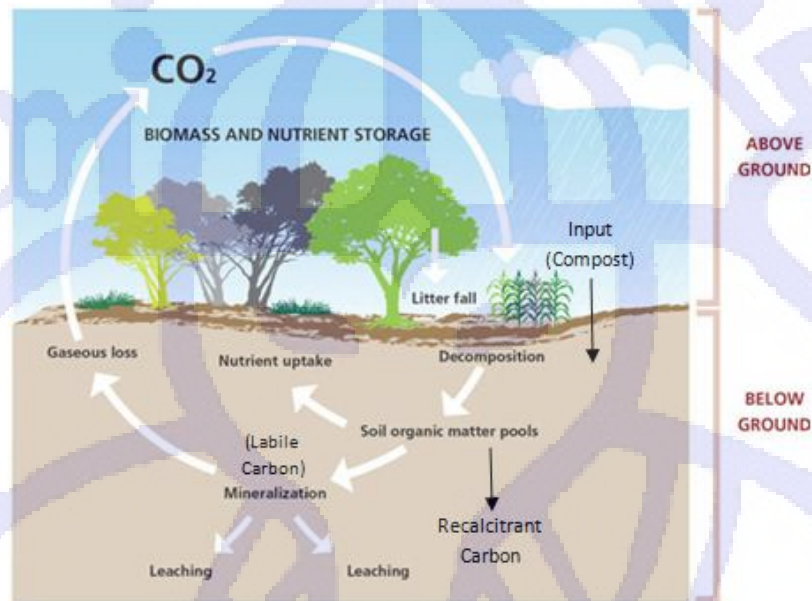
Akar bertanggung jawab terhadap absorpsi dan akumulasi dari logam, sehingga panjang akar lebih dipengaruhi oleh konsentrasi kompos (Oncel et al., 2000; Araujo&Monteiro, 2005 dalam Mitelut&Popa, 2011).

2.7. Carbon Sequestration

Tanah merupakan tempat penyimpanan karbon organik yang terbesar (Lal, 2001 dalam Fabrizio et al., 2008). Kemampuan degradasi materi organik merupakan kunci dalam penelitian mengenai materi organik di dalam tanah. Hal ini dapat diartikan sebagai kemampuan materi organik untuk dapat dimanfaatkan oleh mikroba tanah sebagai sumber energi (Rovira&Vallejo, 2002 dalam Fabrizio et al., 2008). Banyak parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kemampuan degradasi materi organik, seperti rasio C/N, lignin/N, dan selulosa/lignin/N (Rovira&Vallejo, 2002 dalam Fabrizio et al., 2008). Komposisi materi organik dalam komponen makromolekul lebih penting daripada komponen lainnya dalam penentuan tingkat degradasi. Contohnya, kandungan lignin, fenol, dan tannin lebih penting dalam penentuan tingkat dekomposisi pada tanah daripada rasio C/N (Paustian et al., 1997 dalam Fabrizio et al., 2008). Hubungan yang kuat terjadi di antara stabilitas kimia dan biologi dari materi organik, rasio *chemical labile* dan *chemical recalcitrant* digunakan untuk menggambarkan kualitas dari materi organik (six et al., 2002; Mikutta et al., 2006 dalam Fabrizio et al., 2008). Rovira&Vallejo (2002) dalam Fabrizio et al. (2008) menggambarkan degradasi residu

tanaman di tanah dengan membagi materi organik menjadi kelompok labil dan *recalcitrant*, tergantung dari kelarutan materi organik di dalam asam kuat. Adani et al. (1995) dalam Fabrizio et al. (2008) membagi materi organik labil dan *recalcitrant* pada kompos dengan menggunakan prosedur yang mirip dengan isolasi lignin Klason. Pembagian materi organik dari kompos menjadi labil dan *recalcitrant* ditunjukkan untuk menghubungkan karbon yang tertahan dan karbon yang terlepas setelah inkubasi pada tanah (Rovira&Vallejo, 2002; Andani&Ricca, 2004 dalam Fabrizio et al., 2008).

Jumlah total karbon yang tersimpan di dalam tanah dihasilkan dari kesetimbangan input dan output dari dan ke tanah. Kesetimbangan massa karbon sebelum dan sesudah perubahan tanah memungkinkan terjadi *tracing* atau peninggalan jejak dari karbon yang tersequesterasi (Lal, 2007 dalam Fabrizio et al., 2008). Kandungan karbon organik di tanah meliputi, dua komponen, yaitu karbon organik dan anorganik. Definisi dari *carbon sequestration* di tanah diartikan sebagai transfer atau perubahan CO₂ ke dalam tanah, contohnya proses perubahan materi organik menjadi humus (*humufication*) dari penambahan biomassa (Lal, 2007 dalam Fabrizio et al., 2008). Penelitian terbaru mengenai *carbon sequestration* membahas perubahan total organik karbon di dalam tanah. Di sisi lain, Fabrizio et al. (2008) membagi karbon organik dalam tanah menjadi karbon labil dan *recalcitrant* dengan menggunakan hidrolisis asam. Karbon *recalcitrant* mengandung substansi humat dan senyawa resistan seperti lignin, suberin, lemak, cutin, dan resin (Fabrizion et al., 2008). Berikut diberikan **Gambar 2.9** yang menunjukkan hubungan antara pengomposan dengan *carbon sequestration*:



Gambar 2. 9 Hubungan antara Pengomposan dengan *Carbon Sequestration*

Sumber: Modifikasi dari FAO, 2008

Untuk mengamati ketidakmunculan atau sequestrasi dari karbon di dalam tanah dilakukan pengukuran CO_2 yang dihasilkan selama proses perubahan dekomposisi pada tanah (Rochette et al., 1999 dalam Fabrizio et al., 2008).