

POTENSI LIMBAH DAN KARAKTERISTIK PROSES PENGOMPOSAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT YANG DITAMBAHKAN SLUDGE LIMBAH PABRIK MINYAK KELAPA SAWIT

Firman L Syahwan

Peneliti di Pusat Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Empty Fruit Bunches (EFB) and sludge are 2 (two) kinds of solid waste of palm oil plant that haven't been utilized optimally. Their potency are high enough, and both have different characteristic that positively influence each other if both utilized together. The research result showing that composting process of EFB added by sludge is optimally aerobic done with processing time about 13 weeks to produce mature compost. The addition of sludge is positively influence composting process of EFB that its compost product has good quality.

Key words : crude palm oil, empty fruit bunches, sludge, composting.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri minyak kelapa sawit berjalan sangat cepat sejalan dengan perannya sebagai salah satu komoditi andalan di Indonesia. Dilaporkan bahwa jumlah produk CPO (*crude palm oil* atau minyak mentah kelapa sawit) yang diproduksi, diperkirakan memberikan kontribusi sebanyak 26,5 persen untuk pasar dunia minyak nabati pada tahun 2003-2007 atau sekitar 25 juta ton per tahunnya. Pada tahun 2008-2012 kontribusinya diperkirakan meningkat menjadi 27,6 persen¹⁾.

Konsekuensi logis dari hal tersebut di atas adalah tingginya produksi minyak kelapa sawit termasuk produk ikutannya berupa limbah, baik dalam bentuk padat, cair maupun gas. Penelitian ini lebih menyoroti pada limbah padat yang dihasilkan, untuk

dimanfaatkan menjadi kompos.

Limbah padat industri/pabrik minyak kelapa sawit yang paling dominan berasal dari proses pengolahan di dalam pabrik. Limbah padat tersebut berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang atau tempurung, serabut atau serat, *sludge* atau lumpur dan bungkil. Selain itu, terdapat pula limbah padat yang berasal dari plant pengolahan limbah cair berupa lumpur aktif dan abu sisa pembakaran yang berasal dari pembakaran TKKS di insinerator. Abu yang dihasilkan sebanyak 0,5% dari TKKS²⁾.

TKKS merupakan tandan sawit yang telah diambil buahnya, merupakan limbah padat dengan jumlah terbanyak dan umumnya dibuang ke lahan-lahan kosong di kebun sawit atau dibakar dengan menggunakan insinerator.

Cangkang atau tempurung merupakan

bagian dari buah sawit yang strukturnya keras seperti tempurung kelapa. Cangkang umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar *boiler* di pabrik.

Serabut disebut juga sabut atau serat (*fiber*), berasal dari mesocarp buah sawit yang telah mengalami pengempaan di dalam *screw press*. Nilai kalor serabut yaitu 4.586 kcal/kg lebih tinggi dari nilai kalor TKKS yang 3700 kcal/kg.³⁾ Nilai kalor yang tinggi tersebut menyebabkan dimanfaatkannya serabut sebagai bahan bakar *boiler* di pabrik.

Sludge atau lumpur berasal dari 2 (dua) sumber yaitu dari proses pemurnian minyak yang biasanya menggunakan decanter dan dari instalasi pengolahan limbah cair. *Sludge* dari *decanter* merupakan kotoran minyak yang bercampur dengan kotoran yang lain. Di pabrik, *sludge* ini dikenal juga dengan istilah *solid*. Sedangkan *sludge* dari instalasi pengolahan limbah cair berasal dari endapan suspensi limbah cair dan mikroorganismenya yang hidup di dalamnya. Rasio C/N *sludge* relatif rendah yaitu 5.⁴⁾, sehingga baik sebagai sumber nitrogen. *Sludge* merupakan limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal.

Bungkil merupakan padatan yang berasal dari ekstraksi minyak inti sawit yang telah dikempa. Bungkil merupakan limbah yang kaya nutrisi. Kandungan protein kasarnya 15,59%, lemak kasar 1,64%, BETN 48,26% dan serat kasar 1,64%, sehingga potensial untuk dijadikan sebagai pakan ternak⁵⁾.

Dari limbah padat tersebut di atas, ada 2 (dua) jenis limbah yaitu TKKS dan *sludge* yang belum dimanfaatkan. Secara optimal kedua jenis limbah tersebut punya potensi untuk dijadikan kompos. Penelitian pemanfaatan TKKS menjadi kompos sudah pernah dilakukan^{4, 6)}. Penelitian yang dilakukan adalah memanfaatkan TKKS saja menjadi kompos atau dengan penambahan inokulan (*starter*) dan limbah cair. Namun pembuatan kompos dari TKKS yang ditambahkan dengan *sludge* belum pernah dilaporkan, sehingga menarik untuk diteliti. Hal ini disebabkan selain

kedua limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal, kedua limbah tersebut punya karakter yang berbeda dan saling melengkapi, apabila dimanfaatkan menjadi kompos secara bersama.

Proses pengomposan merupakan proses penguraian materi organik yang kompleks secara biologis menjadi materi organik yang sederhana dan relatif stabil menyerupai humus dalam kondisi aerob yang terkendali^(7,8,9,10,11,12).

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi limbah pabrik sawit, khususnya TKKS dan *sludge* untuk dijadikan kompos, serta karakteristik proses pengomposan TKKS yang ditambahkan *sludge* sebagai bahan baku.

2. METODOLOGI

2.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Plant Pengomposan Mersam, Kabupaten Batanghari. Sedangkan *sludge* diambil dari pabrik kelapa sawit yang ada di Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi.

2.2. Proses Pembuatan Kompos

TKKS yang digunakan merupakan TKKS yang baru keluar dari proses pengolahan sawit dari pabrik kelapa sawit Pinang Tinggi, Jambi. Pemilihan pengambilan TKKS di Pinang Tinggi karena di lokasi tersebut memiliki fasilitas mesin pencacah TKKS. Di pabrik Pinang Tinggi itu pula, TKKS dicacah menggunakan mesin pencacah merk *Vermer*. Proses pencacahan lebih bersifat menjadikan TKKS berbentuk gepeng sehingga serabut-serabut TKKS menjadi terurai dan bukan memotong TKKS menjadi bentuk potongan-potongan kecil. Dengan demikian, TKKS yang telah dicacah memiliki serat atau serabut dengan

ukuran yang panjang-panjang. Dari Pinang Tinggi, TKKS yang telah dicacah dibawa ke Plant Kompos di Mersam, Kabupaten Batanghari. Sedangkan *sludge* sawit yang akan digunakan sebagai bahan campuran TKKS diambil langsung dari pabrik kelapa sawit yang ada di Batanghari.

Di Plant Kompos Mersam, selanjutnya diadakan penelitian pemanfaatan TKKS menjadi kompos dengan menggunakan *sludge* sebagai bahan tambahan. Proses pengomposan yang dipakai adalah sistem open *windrow*, karena sistem itu dianggap paling cocok untuk diaplikasikan di Indonesia^{11,12)}. TKKS yang telah dicacah ditumpuk memanjang dengan ukuran panjang 6 m, lebar 2,5 m dan tinggi 1,5 m. Jumlah tumpukan yang dibuat sebanyak 4 (empat) buah dengan 3 (tiga) tumpukan diantaranya (P1, P2 dan P3) dalam proses penelitian ini ditambahkan dengan limbah *sludge* dan 1 (satu) tumpukan (P4) tanpa penambahan *sludge*.

Perbandingan jumlah antara TKKS dan *sludge* harusnya sesuai dengan realitas jumlah limbah yang dihasilkan dari pabrik, yaitu 23 % dari TBS untuk TKKS dan 2 % dari TBS untuk *sludge*³⁾. Namun karena kesulitan untuk mendapatkan *sludge*, maka jumlah *sludge* yang digunakan hanya separuhnya. Dengan demikian, perbandingan antara TKKS : *sludge* adalah 23:1 berdasarkan berat basah dan bukan 23 : 2. Proses penambahan *sludge* dilakukan secara berlapis-lapis untuk setiap ketebalan tumpukan 40 cm. Penyiraman dengan air diberikan apabila tumpukan dianggap kering, sedangkan proses pembalikan (pengadukan) tumpukan dilakukan setiap seminggu sekali. Pembalikan seminggu sekali dengan menggunakan tenaga manusia sudah cukup optimal¹²⁾. Lama proses pembuatan kompos untuk penelitian ini adalah 9 (sembilan) minggu.

2.3. Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan antara lain temperatur tumpukan TKKS dan *sludge* yang

dikomposkan dan temperatur udara yang diukur setiap hari. Untuk perubahan volume dan berat tumpukan, dilakukan pengukuran setiap minggu sekali. Pada akhir penelitian diamati pula warna, bau dan struktur kompos yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Potensi dan Karakteristik TKKS dan *Sludge*

Dilaporkan bahwa produksi minyak sawit Indonesia per tahun adalah 25 juta ton¹⁾. Prosentase minyak sawit mentah adalah 43 % TBS dan prosentase limbah TKKS 23 % TBS³⁾. Dengan demikian produksi TKKS per tahun adalah 13,37 juta ton, merupakan jumlah yang tidak sedikit. Sedangkan jumlah *sludge* yang 2 % dari TBS³⁾ memberikan gambaran bahwa produksi limbah *sludge* sekitar 1,16 juta ton per tahun. Kedua jenis limbah tersebut kalau bisa dimanfaatkan menjadi kompos, merupakan jumlah yang sangat potensial, apalagi kalau dikaitkan dengan kebijakan Kementerian Pertanian yang telah mencanangkan "Go Organic2010".

TKKS memiliki sifat yang keras dengan kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa yang tinggi³⁾. Bahan organik yang banyak mengandung selulosa, lignin dan hemiselulosa apabila dikomposkan akan membutuhkan waktu yang lama¹⁰⁾. C/N ratio TKKS yang 32,86¹³⁾, sedikit di atas C/N ratio optimal bahan untuk dikomposkan yaitu 30.

Sebaliknya *sludge* memiliki sifat yang lunak dengan struktur yang halus seperti tepung. Bahan organik dengan sifat seperti tersebut apabila dikomposkan tidak butuh waktu yang lama. Namun sifat *sludge* yang terlalu halus dan lembab (basah) menyebabkan aerasi bahan menjadi tidak baik untuk suatu proses pengomposan. Kondisi demikian akan cenderung mendorong terjadinya proses yang anaerobik ketimbang dengan yang seharusnya terjadi, yaitu

aerobik. Ratio C/N sludge adalah 5.⁴⁾ merupakan C/N ratio yang rendah atau menggambarkan bahan dengan kaya nutrisi, khususnya nitrogen, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengaya bagi TKKS.

Sifat-sifat yang dimiliki TKKS dan *sludge* akan tidak optimal apabila dikomposkan secara sendiri-sendiri. Tetapi kalau kedua bahan tersebut dikomposkan secara bersama, maka kekurangan sifat dari TKKS akan ditutupi oleh *sludge* dan sebaliknya. C/N ratio TKKS yang di atas 30 akan menjadi optimal bila digabung dengan *sludge* yang C/N rasionya 5. Begitu juga sifat keras dari TKKS akan diuntungkan dengan adanya sifat lunak dari *sludge* yang juga kaya akan mikroba selain bersifat mempertahankan kelembaban. Asumsi atau analisis ini akan dilihat hasilnya di sub bab berikut.

3.2. Karakteristik Proses Pengomposan TKKS

1) Dinamika Perubahan Temperatur

Dalam proses pengomposan, dinamika temperatur merupakan indikator atau sejalan dengan dinamika aktivitas mikrobiologi. Dengan demikian, profil perubahan temperatur menggambarkan pula karakteristik proses pengomposan yang sedang berjalan sehingga menjadi parameter penting dalam mengevaluasi suatu proses pengomposan. Bahkan, dinamika temperatur tersebut menjadi kunci dalam menentukan tingkat kematangan produk kompos yang dihasilkan.

Dalam proses pengomposan aerobik sistem *windrow*, materi organik diuraikan menjadi energi, kompos, air, karbon dioksida dan sejumlah kecil gas-gas lainnya^{7,9,10)}. Energi dilepaskan sebagai panas sehingga menjadikan tumpukan bahan yang dikomposkan melewati fase-fase peningkatan temperatur sampai mencapai temperatur puncak, yang kemudian menurun kembali setelah terjadi penurunan aktivitas

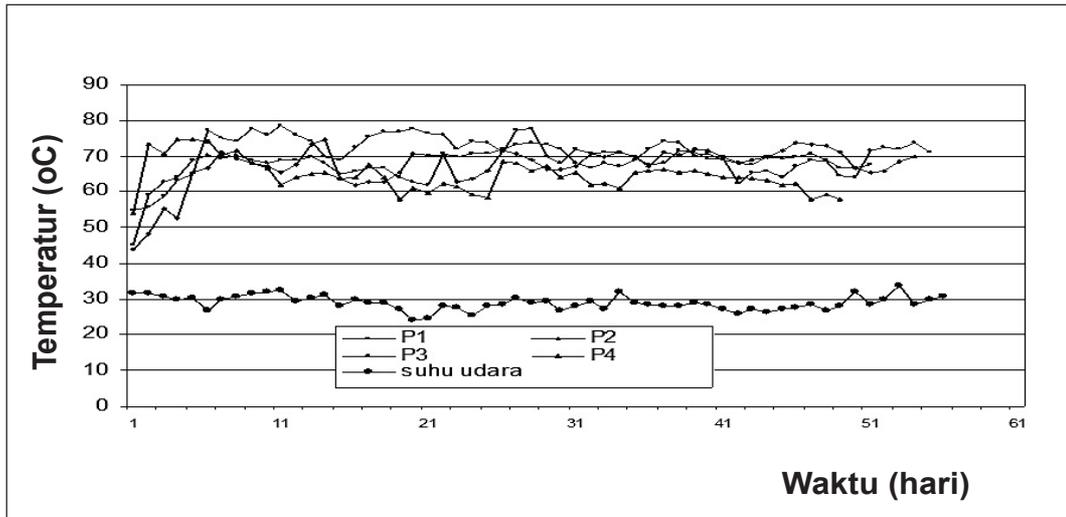
mikroorganisme. Kondisi demikian yang disebut dengan dinamika temperatur.

Dinamika temperatur biasanya digambarkan dengan naiknya temperatur pada minggu pertama, sampai mencapai temperatur puncak (70 – 75°C). Temperatur puncak tersebut biasanya bertahan untuk beberapa minggu, sehingga organisme patogen seperti bakteri, virus dan parasit, serta bibit gulma yang berada pada limbah yang dikomposkan menjadi mati. Kemudian secara gradual, temperatur *windrow* akan menurun karena aktivitas mikroorganisme termofilik mulai menurun dan digantikan dengan mikroorganisme mesofilik, sampai akhirnya limbah yang dikomposkan mencapai tingkat kematangan. Kompos dikatakan matang, apabila temperaturnya tidak lebih dari 20°C di atas temperatur udara¹⁴⁾.

Dinamika temperatur hasil penelitian disajikan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat adanya perbedaan dinamika temperatur antara perlakuan pengomposan TKKS yang ditambahkan *sludge* (P1, P2, P3) dengan perlakuan pengomposan TKKS yang tidak ditambahkan *sludge* (P4).

Temperatur puncak (di atas 70°C) bisa dicapai dalam 1 (satu) minggu pertama proses pengomposan oleh seluruh *windrow* penelitian, baik untuk TKKS yang ditambahkan *sludge* maupun yang tidak (P1, P2, P3 dan P4). Hal ini menunjukkan bahwa proses pengomposan untuk keseluruhan *windrow* penelitian dapat berlangsung dengan baik tanpa ada gangguan atau kegagalan.

Perbedaannya adalah temperatur puncak (di atas 70°C) yang terjadi pada *windrow* TKKS yang ditambahkan *sludge* (P1, P2 dan P3) berlangsung selama penelitian (9 minggu). Sedangkan temperatur puncak (di atas 70°C) pada *windrow* TKKS tanpa *sludge* (P4) hanya berlangsung selama 2 (dua) minggu pertama, kemudian temperaturnya turun dan berada di rentang 60 - 70°C sampai akhir penelitian. Kondisi demikian menggambarkan aktivitas mikroorganisme yang lebih tinggi pada P1, P2 dan P3



Gambar 1. Dinamika Temperatur Pengomposan

dibandingkan dengan P4. Artinya adalah *windrow* TKKS yang ditambahkan dengan *sludge*, lebih optimal untuk perkembangan kehidupan mikroorganisme dibandingkan dengan *windrow* TKKS yang tanpa *sludge*. Dengan kata lain adalah penambahan *sludge* berpengaruh positif terhadap pengomposan TKKS.

Tingginya temperatur *windrow* P1, P2 dan P3 yaitu sekitar 70°C dan sekitar 60 °C untuk *windrow* P4 pada akhir penelitian, memberikan gambaran bahwa sampai minggu ke sembilan proses pengomposan aktif masih tetap berlangsung atau dengan kata lain keseluruhan *windrow* (P1, P2, P3 dan P4) belum memasuki kematangan kompos, dilihat dari parameter temperatur.

Kesimpulan di atas berkaitan dengan temperatur udara di lokasi penelitian yang berada di sekitar 30°C. *Windrow* P1, P2, P3 dan P4 akan memasuki ke tingkat kematangan kompos apabila temperatur *windrow* sudah turun di bawah 50 °C. Penelitian lain menyimpulkan bahwa pengomposan TKKS akan mencapai tingkat kematangan setelah berumur lebih dari 10 minggu⁴⁾ atau pada umur 13 minggu⁶⁾.

Tingginya temperatur selama proses pengomposan mengakibatkan tingginya penggunaan air untuk penyiraman sebagai

akibat tingginya penguapan. Proses pengomposan yang tanpa *sludge* (P4) membutuhkan air yang lebih banyak dibandingkan dengan yang menggunakan *sludge*. Hal ini menggambarkan bahwa penggunaan *sludge* berpengaruh positif terhadap efisiensi penggunaan air, karena *sludge* selain bersifat basah juga mempunyai kapasitas menahan air.

2) Reduksi Volume dan Berat

Reduksi volume dan berat dari *windrow* terjadi akibat penguraian materi organik dan lepasnya senyawa kimia dalam bentuk gas dan uap air. Secara tidak langsung proses tersebut menggambarkan pula proses aktif pengomposan, sehingga dapat pula dipakai untuk menggambarkan karakteristik suatu proses pengomposan selain untuk menilai tingkat kematangan produk kompos. Kompos dikatakan matang, apabila reduksi volumenya melampaui 60 %¹⁴⁾ dan reduksi beratnya melampaui 50 %^{11, 12 dan 15)}.

Dinamika reduksi volume selama penelitian disajikan pada Gambar 2, sedangkan untuk reduksi berat disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan grafik pada Gambar 2, terlihat pola reduksi volume yang hampir sama (tidak ada perbedaan) antara

pengomposan TKKS yang ditambahkan *sludge* (P1, P2 dan P3) dengan yang tidak (*P4*). Begitu juga pola reduksi berat (Gambar 3) yang tidak memperlihatkan perbedaan antara P1, P2, P3 dan P4.

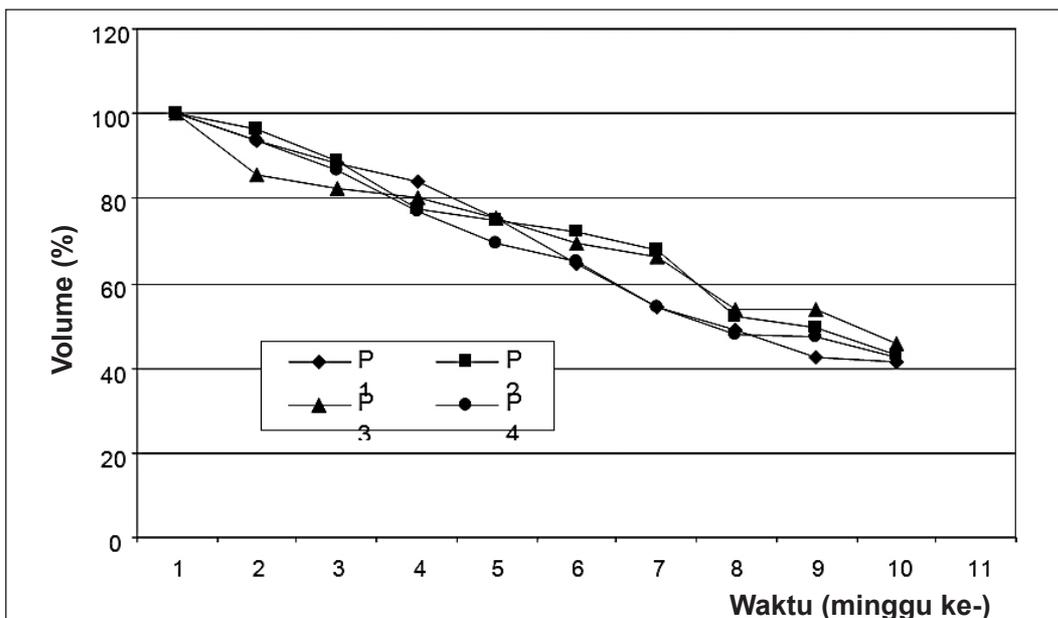
Reduksi volume yang terjadi baik pada P1, P2, P3 maupun P4 menggambarkan terjadinya reduksi volume yang sangat lambat, mulai minggu pertama sampai minggu ke sembilan. Hal ini sangat berbeda dengan hasil penelitian pengomposan menggunakan limbah organik yang lain. Pada 2 (dua) minggu pertama, reduksi volume sudah mencapai 50 % dan pada minggu ke enam atau ke tujuh pada saat kompos matang sudah mencapai 75 %^{11,12 dan 15}). Rendah atau lambatnya reduksi volume *windrow* TKKS memberikan gambaran bahwa TKKS merupakan bahan organik yang sulit didegradasi atau sulit dihancurkan oleh mikroba menjadi kompos. Sampai minggu ke sembilan, besarnya reduksi volume masih belum mencapai 60% sehingga belum bisa dikatakan kompos matang. Fakta ini memperkuat atau sesuai dengan analisis kematangan berdasarkan dinamika temperatur.

Untuk reduksi berat juga hampir sama dengan reduksi volume. Seluruh perlakuan tidak memperlihatkan perbedaan nyata dengan besaran reduksi berat yang juga berjalan lambat. Sampai minggu ke sembilan, besarnya reduksi berat masih di bawah 50%, sehingga belum mencirikan tingkat kematangan kompos.

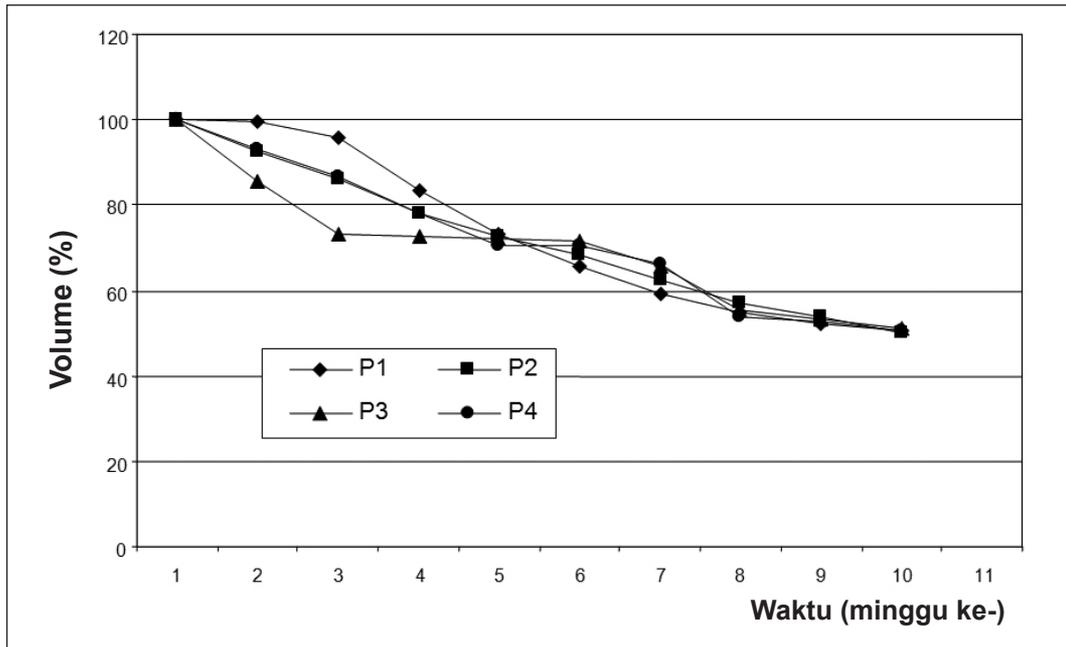
3) Karakteristik Produk Kompos

Produk kompos yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sangat khas yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik TKKS sebagai bahan baku utama. Kompos yang dihasilkan berbentuk serat-serat halus yang berbeda dengan kompos pada umumnya yang relatif berbentuk seperti tepung. Bentuk kompos TKKS yang berserat dan agak kasar akan sangat bermanfaat bila dipakai untuk memperbaiki struktur tanah yang sudah mengeras, atau sangat baik bila digunakan sebagai media tanam untuk tanaman yang membutuhkan media yang *porous*.

Antara produk kompos yang ditambahkan *sludge* (P1, P2 dan P3) dengan yang tanpa *sludge* (P4) terdapat perbedaan



Gambar 2. Reduksi Volume Selama Proses Pengomposan



Gambar 3. Reduksi Berat Selama Proses Pengomposan

warna. Kompos yang menggunakan *sludge* berwarna lebih coklat kehitaman (lebih pekat) dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan *sludge*. Begitu juga dengan tingkat kelunakan serat produk kompos. Yang menggunakan *sludge* terasa lebih lunak dan lebih rapuh dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan *sludge*. Hal ini memberikan indikasi bahwa penambahan *sludge* berpengaruh positif terhadap proses dekomposisi atau penguraian bahan organik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. TKKS dan *sludge* merupakan dua jenis limbah pabrik kelapa sawit yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Potensi TKKS per tahun di Indonesia adalah 13,37 juta ton, sedangkan potensi *sludge* adalah 1,16 juta ton.
2. TKKS dan *sludge* secara individu memiliki karakteristik yang kurang menguntungkan apabila dimanfaatkan

menjadi kompos secara sendiri-sendiri. Karakter TKKS dan *sludge* yang berbeda, akan saling berpengaruh positif bagi yang lain, apabila keduanya dimanfaatkan menjadi kompos secara bersama-sama.

3. Proses pengomposan TKKS dapat berjalan optimal secara aerobik, yang ditandai dengan tingginya temperatur *windrow* selama proses penelitian (9 minggu).
4. Karakteristik proses pengomposan TKKS yang utama adalah lebih lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh produk kompos yang matang dibandingkan dengan apabila menggunakan bahan organik yang lain. Proses pengomposan TKKS sampai menghasilkan kompos yang matang dibutuhkan waktu sekitar 13 minggu, sedangkan untuk bahan organik yang lain hanya membutuhkan waktu 6 – 7 minggu.
5. Penambahan *sludge* pada proses pengomposan TKKS berpengaruh positif terhadap dekomposisi TKKS.

6. Produk kompos TKKS yang dihasilkan berkualitas baik dan cocok untuk digunakan sebagai penggembur tanah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kardono dan S. Wahyono, 2008. Assessment of Oil Palm Waste Treatment Technology, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Pusat Teknologi Lingkungan – BPPT, Edisi Khusus : 75 – 85.
2. Naibaho, M., 1998. *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.
3. Sa'id, E.G., 1996. *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa sawit*, Trubus Agriwidya.
4. Schuchardt, F., Darnoko, D. Darmawan, Erwinsyah dan P. Guritno, 2001. *Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Pembuatan Kompos*, Prosiding Lokakarya Pengelolaan Lingkungan Pabrik Kelapa Sawit.
5. Lubis, A.D., D.A. Erowati dan A. Waluyo, 2000. *Pengolahan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Berupa Serat dan Lumpur Sawit dengan Metoda Amoniasi dan Biofermentasi di Mersam, Kabupaten Batanghari, Jambi*, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan BPPT, Jakarta.
6. Wahyono, S., F.L. Sahwan, F. Suryanto dan A. Waluyo, 2003. *Pembuatan Kompos dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*, Prosiding Teknologi untuk Negeri, BPPT, Jakarta.
7. Golueke, C. G., 1997. *Biological Processing : Composting and Hydrolysis*; In *Handbook of Solid Waste Management*, Van Nostrand Reinhold Company, New York
8. Haug, R.T., 1980. *Compost Engineering, Principles and Practice*, An Arbor Science Publisher Inc., Michigan.
9. Tchobanoglous, G., H. Theisen and S. Vigil, 1993. *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*, Mc Graw-Hill Inc, USA
10. Epstein, E., 1997. *The Science of Composting*, Technomic Publishing Company Inc., USA
11. Wahyono, S., F.L. Sahwan dan F. Schuchardt, 2003. *Pembuatan Kompos dari Limbah Rumah Potong Hewan*, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT, Jakarta.
12. Wahyono, S., F.L. Sahwan dan F. Suryanto, 2003. *Menyulap Sampah Menjadi Kompos*, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan BPPT, Jakarta.
13. Susanto, H, dan Y.W. Budhi, 1997. *Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif Melalui Proses Gasifikasi*. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit, Medan.
14. Anonim, 1996. *Guidelines for Compost Quality*, Canadian Council of Ministry of Environment.
15. Wahyono, S. dan F.L. Sahwan, 2008. *Dinamika Perubahan Temperatur dan Reduksi Volume Limbah dalam Proses Pengomposan (Studi Kasus Pengomposan di RPH Cakung, Jakarta Timur)*, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Pusat Teknologi Lingkungan – BPPT 9 (3) : 255-262.