

Optimasi pengomposan tandan kosong kelapa sawit menggunakan dekomposer bakteri lignoselulolitik skala komersial

Optimization of decomposition of empty fruit bunches oil palm using lignocellulolytic bacterial decomposer composting in commercial scale

Happy WIDIASTUTI^{*)}, Haryo Tejo PRAKOSO, SUHARYANTO & SISWANTO

Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia
Jl. Taman Kencana No 1. Bogor 16151, Indonesia

Diterima tanggal 18 Juni 2015/disetujui tanggal 25 Agustus 2015

Abstract

Decomposition produces methane gas that contribute to greenhouse gas emissions. A research has been conducted to anticipate the occurrence of greenhouse gas emissions by composting of oil palm empty fruit bunches (EFB) waste with aerobic systems using lignocellulolytic bacterial decomposers (LCBD) in a commercial scale. Two of the activities carried out are optimization of anaerobic decomposition (pre-treatment) process and optimization of anaerobic-aerobic decomposition in a scale of 50 tons and 780 tons. The results showed that the best pre-treatment is decomposition using fungal decomposer (Acticomp) in an open area and covered with a plastic. In the anaerobic-aerobic decomposition system on scale of 50 tons, the best treatment is using fungal decomposer (Acticomp) and lcbd both for four weeks each while on a scale of 780 tons showed that EFB decomposition on combination of anaerobic and aerobic decomposition system within two months and two weeks respectively produce compost with the C/N ratio of 20.5. The properties of compost was perfectly mature and producing the highest number of green bean germinated seeds.

[Key word : Pre-treatment, empty fruit bunches oil palm, lignocellulolytic bacterial decomposer

Abstrak

Pengomposan atau dekomposisi secara anaerob menghasilkan gas metan yang dapat menyumbang emisi gas rumah kaca. Untukantisipasi terjadinya emisi gas rumah kaca telah dilakukan penelitian pengomposan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan sistem aerobik menggunakan dekomposer bakteri lignoselulolitik (DBLS) pada skala komersial. Dua kegiatan yang dilakukan adalah optimasi pengomposan anaerob (*pre treatment*) dan optimasi pengomposan anaerobik-aerobik masing-masing pada skala 50 ton dan 780 ton. Pada optimasi pengomposan dua faktor yang diuji adalah penggunaan dekomposer dan penutupan kompos sedangkan pada optimasi pengomposan anaerobik-aerobik diuji pengaruh penggunaan DBLS dan pengaruh penggunaan DBLS dan lama periode sistem pengomposan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *pre treatment* terbaik adalah pengomposan dengan dekomposer jamur (Acticomp) di areal terbuka dan ditutup terpal. Perlakuan pada sistem anaerobik-aerobik skala 50 ton terbaik adalah pengomposan dengan dekomposer jamur (Acticomp) selama empat minggu dan dengan DBLS selama empat minggu sedangkan pada skala 780 ton menunjukkan bahwa pengomposan TKKS pada kombinasi antara pengomposan dengan dekomposer jamur (Acticomp) dan DBLS masing-masing dalam waktu dua bulan dan dua minggu menghasilkan kompos TKKS dengan rasio C/N 20,5 dengan karakter matang sempurna dan mampu menghasilkan jumlah biji kacang hijau berkecambah tertinggi.

[Kata kunci : *Pre-treatment* kompos, tandan kosong kelapa sawit, dekomposer bakteri lignolitik]

Pendahuluan

Limbah industri perkebunan pada umumnya berupa biomassa tanaman yang jumlahnya sangat melimpah namun bersifat rekalsitran karena kandungan ligninnya. Dalam formasinya di dalam sel tanaman, lignin berada di permukaan sehingga untuk pemanfaatan limbah industri perkebunan, harus dilakukan degradasi lignin terlebih dahulu untuk memudahkan dekomposisi selulosa yang berada di bagian dalam. Dekomposisi lignin di samping dapat dilakukan secara kimia dapat pula dilakukan secara enzimatis yaitu melalui aktivitas mikroba. Enzim ekstraseluler yang utama mendegradasi lignin adalah lakase, mangan peroksidase (MnP), dan lignin peroksidase (LiP) namun Sarker *et al.* (1997) mengemukakan bahwa selain ketiga enzim tersebut beberapa jamur pelapuk putih (JPP) juga menghasilkan veratril peroksidase yang merupakan gabungan antara LiP dan MnP. Enzim ini dapat mengoksidasi Mn dan senyawa fenol dan senyawa aromatik bukan fenol. Enzim terakhir ini diisolasi dari *Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus* dan *Bjerkandera* sp. BOS55. Beberapa mikroba baik fungi maupun bakteri dikenal mempunyai kemampuan menghasilkan enzim lignolitik (Freedman & Zak, 2014). Kelebihan penggunaan bakteri lignoselulosa adalah memungkinkan pembalikan agar

^{*)} Penulis korespondensi: happywidiastuti@yahoo.com

proses pembuatan kompos berjalan secara aerobik. Kondisi ini sangat mendukung proses pengomposan yang tidak menghasilkan metan sehingga sesuai dengan program CDM (*clean development management*).

Selain lignin, senyawa lain yang terdapat dalam limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan jumlah cukup tinggi adalah selulosa yang merupakan biopolimer karbon terbanyak di bumi. Ikatan 1,4 beta glukosa membentuk kristal tingkat tinggi yang tidak larut dan relatif rekalsitran terhadap degradasi. Hal penting dari degradasi selulosa adalah reaksi enzimatik untuk memecah ketidakterlarutannya selulosa yaitu dengan merusak struktur selulosa sehingga memudahkan aktivitas selulase (Quinlan *et al.*, 2011). Degradasi enzimatik melibatkan aktivitas suatu konsorsium beberapa endoglukanase yang berbeda dan exo celobiohidrolase yang secara kolektif diistilahkan sebagai selulase (Kostylev & Wilson, 2014). Kedua kelas enzim ini menunjukkan hidrolisis glikosida melalui penyerangan air pada pusat monomer dari substrat oligo/polisakaridatan melepaskan glukosa, selobiosa dan oligomer pendek yang dimetabolisme oleh sel. Dalam degradasi selulosa penggunaan kokultur kemungkinan dapat lebih efektif dan menghasilkan selulosa yang tinggi daripada kultur tunggal.

Percepatan proses pengomposan diperlukan mengingat pada produksi puncak tandan buah segar (TBS), kapasitas bangsal pengolahan di Pabrik Kelapa Sawit sering tidak mampu menampung seluruh TKKS sehingga ditimbun di luar bangsal. Penumpukan TKKS secara anaerobik terkadang juga diperlukan sebagai *pre-treatment* agar pengomposan secara aerobik di bangsal berlangsung lebih cepat. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa beberapa bakteri lignolitik yang diisolasi dari lingkungan pengomposan TKKS aktif dan bersifat aerob menghasilkan lakase, Mn-peroksidase dan lignin peroksidase. Aplikasi bakteri lignolitik dapat mempercepat laju penurunan rasio C/N (Prakoso *et al.*, 2014). Bagaimanapun juga penelitian pengomposan TKKS skala Pabrik sistem kombinasi anaerob dan aerob belum banyak dipelajari. Penelitian ini bertujuan mengetahui kondisi optimum dan keefektifan dekomposer bakteri lignoselulolitik (DBLS) untuk pengomposan TKKS pada skala pabrik.

Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di pabrik kompos PT. Pinago Utama, Babatoman, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan menggunakan TKKS berukuran 10-15 cm yang dipotong dengan mesin *Shreder*. Dekomposer jamur (*Acticomp*) yang digunakan terdiri dari *Pholyota* sp. dan *Trichoderma* sp. yang bekerja pada kondisi semi anaerob sedangkan dekomposer bakteri lignoselulolitik (DBLS) adalah terdiri dari dua isolat bakteri lignolitik FS1, dan CRK1 serta bakteri selulolitik isolat K3 yang bekerja pada kondisi aerobik (Prakoso *et al.*, 2014).

Ketiga bakteri tersebut diperbanyak dengan membuat kultur suspensi secara terpisah dan selanjutnya diformulasi menggunakan bahan pembawa berupa gambuthalus kering dan zeolit 80 mesh (1:1, b/b). Kultur suspensi yang diformulasi untuk ketiga bakteri adalah 12% (v/b). Dalam percobaan ini dilakukan tiga kegiatan yaitu 1) optimasi pengomposan dengan *Acticomp*, 2) optimasi pengomposan dengan *Acticomp* dan DBLS (anaerobik-aerobik) skala 50 ton, dan 3) optimasi pengomposan *Acticomp* dan DBLS (anaerobik-aerobik) skala 780 ton.

Optimasi pengomposan dengan *Acticomp* tanpa pembalikan

Pada kegiatan ini TKKS sebanyak 100 ton ditumpuk dengan dimensi 2,2 x 6,20 x 2,4 m (1 x p x t). Empat perlakuan yang diuji adalah:

- (1) pengomposan ditutup terpal di areal terbuka,
- (2) pengomposan tidak ditutup terpal di areal terbuka,
- (3) pengomposan tidak tertutup terpal di bangunan pengomposan beratap, dan
- (4) pengomposan tidak tertutup terpal di areal terbuka.

Tiga perlakuan pertama diberi dekomposer jamur (*Acticomp*) pada dosis 0,1% (b/b) sedangkan perlakuan terakhir tidak diberi dekomposer (kontrol). Pencampuran dekomposer dengan TKKS dilakukan dengan melarutkan dekomposer terlebih dahulu menggunakan air dan selanjutnya menyiram suspensi tersebut pada tumpukan TKKS yang secara simultan juga dilakukan pembalikan TKKS. Parameter yang diamati adalah kelembaban, suhu, kadar oksigen, reaksi kompos, rasio C/N, serta pertumbuhan jamur pendekomposisi dengan metode standar

Optimasi pengomposan dengan *Acticomp*(tanpa pembalikan) dan DBLS (pembalikan)pada skala 50 ton

Tahapanriset ini bertujuan mendapatkan kondisi optimum khususnya waktu pengomposan TKKS dengan mengkombinasi pengomposan kondisi anaerobik dan aerobik masing-masing dengan dekomposer jamur (*Acticomp*) dan DBLS. Jumlah TKKS yang digunakan adalah 50 ton untuk satu unit percobaan. Lima perlakuan yang diuji adalah:

- 1) TKKS segar + DBLS(FS+DBLS),
- 2) TKKShasil pengomposan dengan *Acticomp* selama dua minggu + pengomposan dengan DBLS (F2+DBLS),
- 3) TKKShasil pengomposan dengan *Acticomp* selama dua minggu tanpaDBLS (F2-DBLS),
- 4) TKKS hasil pengomposan dengan *Acticomp* selama empat minggu + pengomposan dengan DBLS (F4+DBLS), dan
- 5) TKKShasil pengomposan dengan *Acticomp* selama empat minggu tanpa pengomposan dengan DBLS (F4-DBLS).

Waktu inkubasi untuk DBLS adalah sama untuk semua perlakuan yaitu enam minggu. Semua perlakuan pengomposan dengan DBLS dilakukan di bangsal pengomposan dengan pengadukan secara berkala (1-2 kali seminggu) menggunakan mesin loader sambil menambahkan DBLS pada dosis 0,2% (b/b). Parameter yang diamati adalah pH, kadar air, kadar oksigen, kelembaban, suhu serta rasio C/N kompos dengan metode standar.

Optimasi pengomposan dengan Acticomp (tanpa pembalikan) dan DBLS (pembalikan) pada skala 780 ton

Kegiatan ini bertujuan menetapkan waktu optimum pengomposan sistem anaerobik-aerobik masing-masing dengan dekomposer jamur (Acti-comp) dan DBLS pada skala 780 ton TKKS. Pada tahap ini dilakukan variasi periode pengomposan dengan dekomposer jamur (Acti-comp) dan DBLS yaitu:

- 1) Acti-comp 30 hari + DBLS 60 hari,
- 2) Acti-comp 60 + DBLS 30 hari,
- 3) Acti-comp 90 hari.

Dosis Acti-comp yang digunakan adalah 2 kg/ton sedangkan dosis DBLS yang digunakan adalah 4 kg/ton. Untuk satu unit percobaan digunakan TKKS sebanyak 780 ton yang dalam persiapannya dijenuhkan dengan air limbah *ex digester biogas* secara berangsur-angsur selama tiga hari untuk mencapai kadar air 55% - 60%. Selanjutnya TKKS dicampur dengan Acti-comp dan TKKS yang telah siap, ditumpuk memanjang dengan dimensi tinggi 8 m panjang 25 m dan lebar 5 m dan ditutup terpal dan diinkubasi selama 30, 60, 90 hari.

Pengamatan yang dilakukan adalah kadar air, kadar oksigen, dan suhu tiap tiga hari sedangkan untuk pH, kadar C dan N dilakukan pengamatan tiap 10 hari. Sampel diambil pada tiga ketinggian yaitu 2, 4, dan 6 m dari dasar pada sisi tengah, kanan dan kiri sehingga jumlah sampel adalah sembilan buah. Pada tahap selanjutnya setelah masa inkubasi berakhir (30 dan 60 hari) TKKS dipindahkan ke areal bangsal pengomposan untuk dikomposkan secara pembalikan (aerobik) menggunakan DBLS. Sedangkan untuk sebagian kompos diinkubasi kembali hingga 90 hari. Sebelum dimulai proses aerob dengan DBLS, kadar air TKKS dioptimumkan kembali hingga mencapai 60% - 65% dan selanjutnya diberi DBLS. Untuk menjaga kondisi aerob dilakukan pembalikan menggunakan mesin *turner*. Pengamatan yang dilakukan adalah kadar air, oksigen, dan suhu tiap tiga hari sedangkan kandungan C dan N serta pH dilakukan setiap 10 hari. Contoh untuk analisis kadar C dan N diambil dari tumpukan TKKS.

Uji kualitas kompos melalui uji perkecambahan benih

Pada tahap ini disiapkan benih kacang hijau yang bernas sebagai bahan tanaman. Pengujian

dilakukan menggunakan kotak *styroform* yang telah diisi dengan (a) kapas basah, (b) tanah *top soil*, (c), tanah *sub soil*, dan (d) masing-masing jenis kompos yang diuji. Sebanyak 20 biji kacang hijau di letakkan di atas kapas, tanah atau kompos dan selanjutnya kotak *styrofoam* di tutup dan diinkubasi di tempat teduh hingga dua hari dan diamati jumlah benih yang berkecambah.

Hasil dan Pembahasan

Optimasi pengomposan dengan Acti-comp tanpa pembalikan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dari empat kondisi pengomposan dengan dekomposer jamur (Acti-comp), pertumbuhan terbaik jamur *Omphalina* sp. adalah pada pengomposan di areal terbuka dan ditutup terpal. Pada tumpukan kompos terlihat pertumbuhan jamur *Omphalina* sp. khususnya di bagian dalam tumpukan (Gambar 1.) dan sebaliknya di permukaan tumpukan. Dugaan yang menyebabkan hal ini adalah rendahnya kadar air TKKS di permukaan yang disebabkan penguapan.

Optimasi pengomposan dengan Acti-comp (tanpa pembalikan) dan DBLS (pembalikan) pada skala 50 ton

Pengamatan kadar air kompos pada tahap aerob pada semua perlakuan berfluktuasi dan berkisar antara 50 hingga 70%. Kadar air ini sesuai untuk pertumbuhan bakteri. Pengamatan suhu kompos menunjukkan bahwa suhu cenderung meningkat mencapai hampir 80°C hingga pengamatan hari ke 27 namun demikian variasi suhu di antara perlakuan tidak terlalu tinggi.

Kadar oksigen pada semua perlakuan di atas 10% hingga pengamatan hari ke 27. Hasil ini menunjukkan bahwa proses yang terjadi selama inkubasi adalah aerob (komunikasi pribadi, 2013). Kadar oksigen meningkat hingga mencapai puncaknya pada hari ke 15 dan selanjutnya menurun hingga masa inkubasi hari ke 27 (Gambar 2).

Reaksi kompos (pH) berkisar antara 7 sampai 8 dan hanya perlakuan FS+DBLS dan F2-DBLS mempunyai pH 9 pada pengamatan hari ke 12. Dari hasil ini ditunjukkan bahwa reaksi yang terjadi



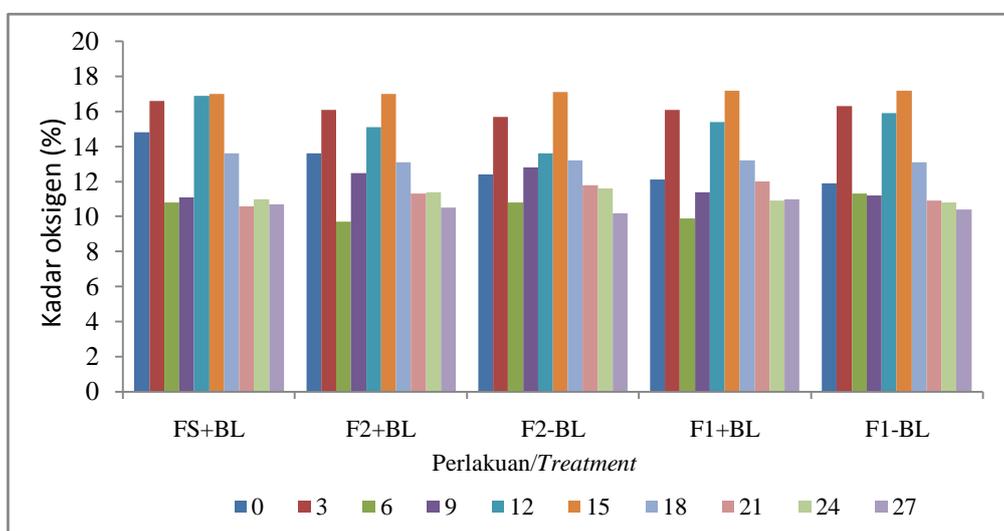
Gambar 1. Miselium jamur *Omphalina* sp. di bagian dalam tumpukan TKKS.

Figure 1. Mycelium of *Omphalina* sp. under EFB pile.

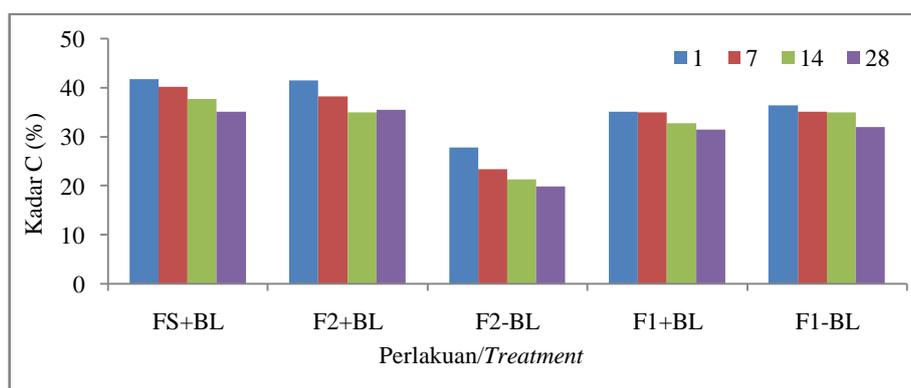
dalam kompos cenderung bersifat basa. Penyebab reaksi ini belum diketahui dengan pasti namun diduga aktivitas bakteri yang menguraikan protein dari *ex digester biogas* sebagai penyiram selama pengomposan yang menghasilkan senyawa bereaksi basa. Berdasarkan komunikasi pribadi, limbah cair biogas bersifat netral dan sedikit basa (pH7-8).Kadar C setiap perlakuan yang diuji menurun dengan bertambahnya waktu inkubasi walaupun tidak terlalu tinggi penurunannya. Kadar C terendah adalah pada perlakuan F2-DBLS (Gambar 3). Penurunan kandungan karbon menunjukkan terjadinya respirasi oleh mikroba sehingga terbentuk CO₂.Kadar N meningkat pada semua perlakuan yang diuji dengan bertambahnya waktu inkubasi (Gambar 4). Peningkatan tertinggi adalah 2 – 4 minggu setelah inokulasi. Kadar N tertinggi

adalah pada perlakuan F2+DBLS. Hasil ini menunjukkan kemungkinan terdapatnya aktivitas mikroba khususnya bakteri lignolitik yang cukup tinggi sehingga terjadi peningkatan populasi demikian pula aktivitasnya serta kadar protein atau N.

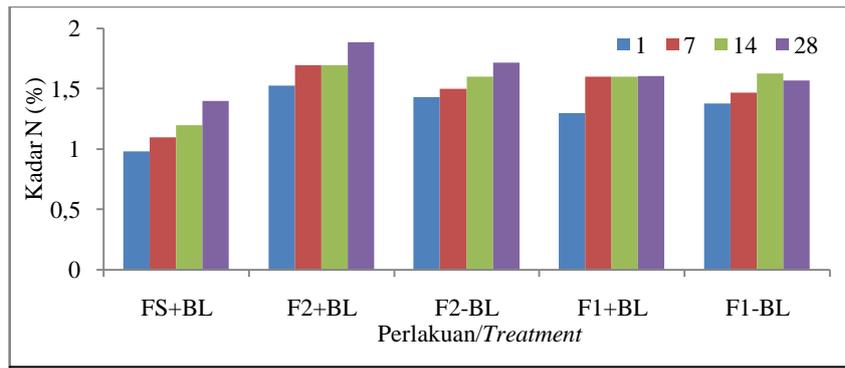
Rasio C/N kompos menurun dengan bertambahnya waktu inkubasi. Penurunan tertinggi ditunjukkan pada satu minggu setelah aplikasi DBLS walaupun demikian kompos yang diinokulasi DBLS memiliki rasio C/N sedikit lebih rendah dibandingkan dengan yang tanpa pemberian DBLS (Gambar 5). Rasio C/N terendah adalah pada perlakuan F2+DBLS yaitu TKKS yang dikomposkan terlebih dahulu selama dua minggu dengan Acticomp dan selanjutnya dikomposkan dengan DBLS selama empat minggu (Gambar 5).



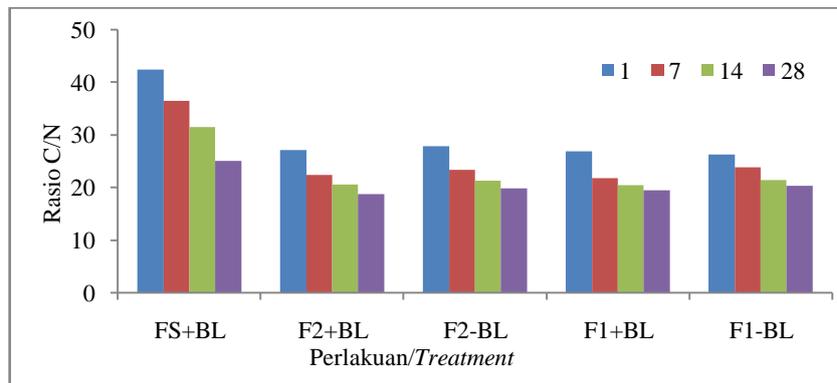
Gambar 2. Kadar oksigen masing-masing perlakuan setelah inkubasi dengan DBLS selama empat minggu.
 Figure 2. Oxygen concentration of EFB pile composting using (LBD) after four weeks incubation.



Gambar 3. Kadar C masing-masing perlakuan setelah inkubasi dengan DBLS selama empat minggu.
 Figure 3. Carbon concentration of EFB during composting using LBD after four weeks incubation.



Gambar 4. Kadar N masing-masing perlakuan setelah inkubasi dengan DBLS selama empat minggu.
 Figure 4. Nitrogen concentration of EFB during composting using LBD as a decomposer after four weeks incubation.



Gambar 5. Rasio C/N masing-masing perlakuan setelah inkubasi dengan DBLS selama empat minggu.
 Figure 5. Carbon to nitrogen ratio of EFB during composting using LBD after four weeks incubation.

Hasil analisis karakteristik kimia kompos menunjukkan bahwa penambahan waktu inkubasi bakteri lignolitik rata-rata menurunkan kandungan karbon dan sebaliknya dengan kandungan N (Tabel 1). Rasio C/N menurun dan perlakuan FS2+DBLS dan FS4+DBLS menghasilkan penurunan sekitar 27,1 – 27,9% sedangkan tanpa DBLS penurunan CN adalah 14,7–20,6%. Bagaimanapun juga TKKS yang diinkubasi selama empat minggu dan dilanjutkan inkubasi dengan DBLS selama enam minggu menghasilkan C/N terendah (Tabel 1).

Optimasi pengomposan dengan Acticomp (tanpa pembalikan) dan DBLS (pembalikan) pada skala 780 ton

Hasil pengamatan pada pengomposan dengan Acticomp selama satu bulan yang dilanjutkan dengan pengomposan dengan DBLS selama dua bulan menunjukkan bahwa kadar air awal berkisar antara 63 sampai 65% namun cenderung menurun dengan bertambahnya waktu inkubasi yaitu mencapai 45% pada inkubasi 30 hari. Pada awal pengomposan DBLS dilakukan kembali optimasi kadar air dengan melakukan penyiraman sehingga kadar air mencapai 54%. Pada inkubasi 39 hari terjadi penurunan kadar air dan meningkat pada inkubasi hari ke 42 yaitu mencapai 68% namun menurun hingga mencapai kadar air 32% pada hari

ke 60. Kadar air kurang dari 50%, akan mempengaruhi aktivitas Acticomp dan bakteri (DBLS) pendekomposisi. Walaupun demikian pengupayaan meningkatkan kadar air TKKS sudah dilakukan dan nampaknya kemampuan memegang air TKKS sangat rendah. Hal yang sama juga dijumpai pada bahan organik jenis lain khususnya yang mengandung lignin tinggi. Walaupun demikian suhu kompos menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu di atas 60°C. Kondisi ini menunjukkan adanya akumulasi panas sebagai akibat aktivitas mikroba.

Analisis kadar oksigen menunjukkan proses pengomposan baik yang dengan dekomposer jamur (Acticomp) maupun DBLS berlangsung secara aerobik (lebih dari 10% dan kurang dari 20%). Kondisi ini nampaknya mendukung terjadinya aktivitas mikroba pendekomposisi yaitu jamur dan bakteri yang terdapat di formula Acticomp dan DBLS berturut-turut. Walaupun demikian untuk mendukung pernyataan ini, perlu dilakukan penghitungan populasi bakteri lignolitik serta jamur pendekomposisi komponen Acticomp dan DBLS dalam kompos. Pengamatan pH kompos menunjukkan bahwa pada saat pengomposan dengan Acticomp pH berkisar antara 7,5 hingga 8,9. Hasil analisis limbah cair biogas yang digunakan dalam penyiraman kompos, bereaksi netral hingga basa dengan pH 8. Tingginya nilai pH kemungkinan

Tabel 1. Karakteristik kimia kompos TKKS hasil uji dekomposer aerob.

Table 1. Chemical characteristics of EFB compost resulted from examination of aerobic decomposer.

Perlakuan Treatment	Kadar C (%) TKKS setelah pemberian DBLS <i>C concentration (%) of EFB after LBD addition</i>		Kadar N (%) setelah pemberian DBLS <i>N concentration (%) of EFB after LBD addition</i>		Rasio C/N setelah pemberian DBLS <i>C/N ratio of EFB after LBD addition</i>	
	4 mg weeks	6 mg weeks	4 mg weeks	6 mg weeks	4 mg weeks	6 mg weeks
	FS+DBLS	41,85	42,88	1,79	1,95	23,38
FS2+DBLS	41,34	39,25	1,69	2,20	24,46	17,84
FS2-DBLS	42,72	41,23	1,74	1,97	24,55	20,93
FS4+DBLS	42,14	41,28	2,02	2,74	20,86	15,05
FS4-DBLS	41,96	39,80	1,79	2,14	23,44	18,60

disebabkan adanya senyawa kimia khususnya yang volatile seperti NH_4 yang kemungkinan mempengaruhi reaksi kompos (pH). Walaupun demikian hasil pengamatan oksigen, kondisi ini tidak seiring.

Pada pengomposan dengan DBLS, nilai pH berkisar antara 7,7 pada awal pengomposan dan cenderung meningkat hingga mencapai 8,7 pada akhir pengamatan. Puncak nilai pH tertinggi adalah pada inkubasi 45 hingga 48 hari pada pengomposan dengan DBLS yaitu mencapai nilai 9. Bagaimanapun juga tingginya nilai pH belum dapat dijelaskan dalam penelitian ini.

Analisis rasio C/N menunjukkan nilai C/N yang menurun baik pada proses pengomposan dengan Acticomp maupun DBLS (Gambar 6). Penurunan rasio C/N yang dicapai pada proses pengomposan dengan Acticomp cukup tinggi yaitu dari 32,9 menjadi 23,8 (27,7%) pada jangka waktu inkubasi satu bulan. Pada proses pengomposan dengan DBLS penurunan CN juga terjadi namun tidak setinggi proses pengomposan dengan Acticomp yaitu 23,3 menjadi 18,3 (21,3%) dengan jangka waktu inkubasi selama dua bulan. Ottosson *et al.* (2015) mengemukakan bahwa jamur merupakan pendekomposisi kayu yang paling dikenal selain saprotrofik, lichen, mycorrhizal, dan fungi endofitik dan dalam kelompok jamur 38% adalah Ascomycetes sedangkan 60% adalah Basidiomycetes. Jamur yang terkandung dalam Acticomp adalah tergolong Basidiomycetes. Pada pengomposan dengan DBLS penurunan rasio CN bulan ke dua lebih tinggi dibandingkan dengan satu bulan pertama. Pada satu bulan kedua dari 21,3 menjadi 18,3 (14,1%) sedangkan pada satu bulan pertama dari 23,1 menjadi 21,3 (7,8%). Proses dekomposisi substrat polimer oleh jamur meningkat dengan adanya sumber N (Koranda *et al.*, 2013)

Perlakuan kedua yang dilakukan adalah dengan mengkombinasi proses pengomposan dengan Acticomp selama 60 hari dan dilanjutkan dengan proses pengomposan dengan DBLS selama 30 hari sehingga total waktu adalah tiga bulan. Pengamatan kadar air menunjukkan bahwa kadar air menurun dari 61% pada saat awal inkubasi menjadi 38% pada akhir inkubasi dengan Acticomp. Walaupun terjadi fluktuasi kadar air namun cenderung me-

nurun dan sebagian besar waktu kadar air di bawah 50%. Pada pengomposan dengan DBLS, kadar air awal berkisar antara 64% dan berfluktuasi dan terendah yaitu di akhir inkubasi yaitu 49%. Suhu kompos menunjukkan angka di atas 60°C yang menunjukkan bahwa aktivitas pengomposan berjalan dengan baik. Hal yang sama juga pada proses pengomposan dengan DBLS.

Pengamatan kadar O_2 menunjukkan nilai antara 12 hingga 19% pada proses pengomposan dengan Acticomp sedangkan pada proses pengomposan dengan DBLS berfluktuasi dan berkisar antara 11 sampai 13% (Gambar 7). Nilai kadar O_2 ini menunjukkan proses yang aerobik.

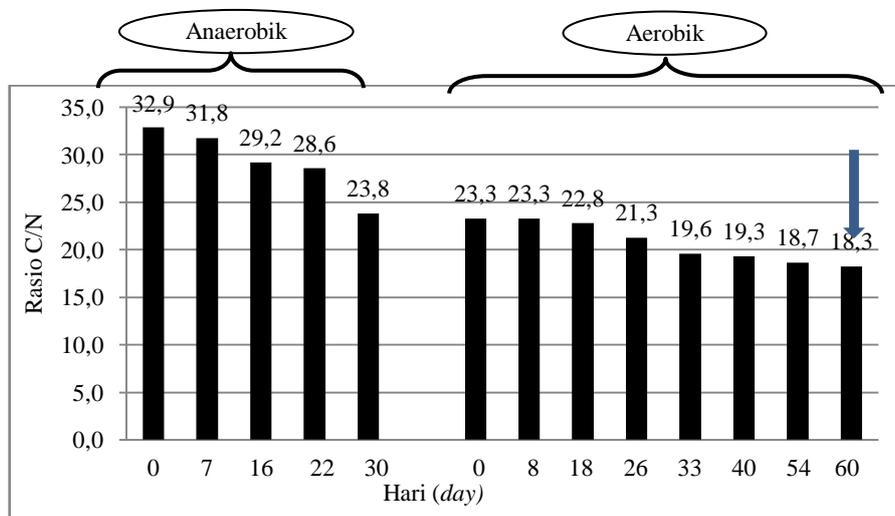
Reaksi kompos berkisar antara 7,5 sampai 8,1 pada proses pengomposan dengan Acticomp sedangkan pada inkubasi dengan DBLS berkisar antara 8,8 sampai 9,0. Hasil ini menunjukkan bahwa reaksi kompos cenderung basa. Hasil analisis rasio CN menunjukkan bahwa pada saat awal inkubasi dengan Acticomp nilai rasio C/N adalah 33 dan menurun menjadi 24 pada jangka waktu inkubasi selama dua bulan (Gambar 8). Penurunan ini cukup tinggi dibandingkan dengan pada pengomposan dengan DBLS. Pada proses pengomposan dengan DBLS nilai awal adalah 21 sedangkan setelah inkubasi selama 30 hari menurun menjadi 19,5. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan rasio C/N yang disebabkan proses pengomposan dengan Acticomp cukup tinggi dan lebih tinggi dibandingkan dengan proses pengomposan dengan DBLS. Hasil ini kemungkinan disebabkan kemampuan yang lebih tinggi bagi jamur yang terkandung dalam Acticomp mendelignifikasi TKKS dibandingkan dengan bakteri yang terkandung dalam DBLS.

Pada pengomposan dengan DBLS yang bekerja secara aerobik, penurunan rasio C/N yang tajam terjadi pada inkubasi dua minggu yang pertama yaitu dari 22 menjadi 20 sedangkan pada dua minggu berikutnya penurunan nilai rasio C/N mulai landai. Hasil ini menunjukkan bahwa inkubasi secara aerobik nyata menurunkan rasio C/N terutama pada dua minggu pertama khususnya pada TKKS yang telah dikomposkan dengan Acticomp selama 60 hari. Freedman *et al.* (2014) me-

ngemukakan bahwa senyawa nitrogen menguntungkan bakteri yang membawa gen LMCO karena dekomposisi N antropogenik mengurangi dekomposer, meningkatkan penyimpanan karbon dan mempercepat produksi senyawa fenolik. Apabila dibandingkan dengan perlakuan pengomposan dengan Acticomp selama 30 hari yang dilanjutkan dengan menggunakan DBLS selama 30 hari, pengomposan dua minggu dengan DBLS menghasilkan nilai CN TKKS 23,8. Nilai ini jauh berbeda jika dibandingkan dengan pengomposan dengan Acticomp selama dua bulan. Dari hasil ini nampaknya pengomposan dengan dekomposer jamur (Acticomp) selama dua bulan merupakan perlakuan awal yang baik untuk TKKS segar. Hasil pengamatan fisik kompos menunjukkan bahwa

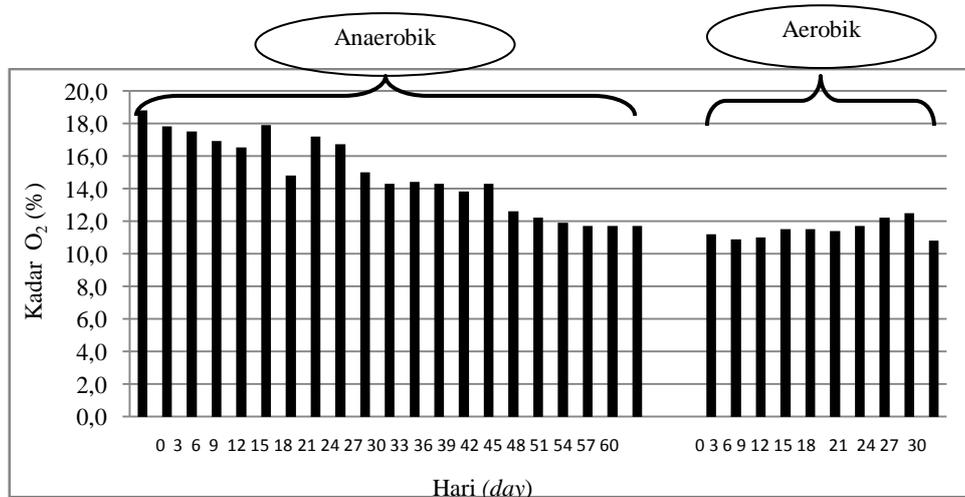
kompos hasil pengomposan dengan Acticomp selama dua bulan yang dilanjutkan dengan pengomposan dengan DBLS selama satu bulan menghasilkan kompos dengan fisik lebih remah padahal ketika dipindah dari anaerobik dengan Acticomp ke tahap aerobik dengan DBLS, fisik kompos masih keras. Hasil ini menunjukkan bahwa kemungkinan aktivitas bakteri lignolitik juga berperan dalam memperbaiki fisik kompos.

Optimasi pengomposan juga dilakukan dengan inkubasi menggunakan Acticomp selama 90 hari. Hasil pengamatan kadar air menunjukkan bahwa pada saat awal, kadar air berkisar antara 62% dan cenderung menurun hingga inkubasi hari ke 90 yaitu mencapai 25%. pertama yaitu menjadi 42% dan penurunan berikutnya sebesar 20% pada jangka



Gambar 6. Rasio C/N selama pengomposan TKKS dengan Acticomp selama 30 hari dan Dilanjutkan dengan DBLS selama 60 hari.

Figure 6. C/N ratio of EFB during 30 days of composting using FD and 60 days aerobic decomposing using LBD.



Gambar 7. Kadar oksigen selama pengomposan TKKS dengan Acticomp selama 60 hari dan dilanjutkan dengan DBLS selama 30 hari.

Figure 7. Oxygen concentration of EFB during 60 days composting using FD and 30 days composting using LBD.

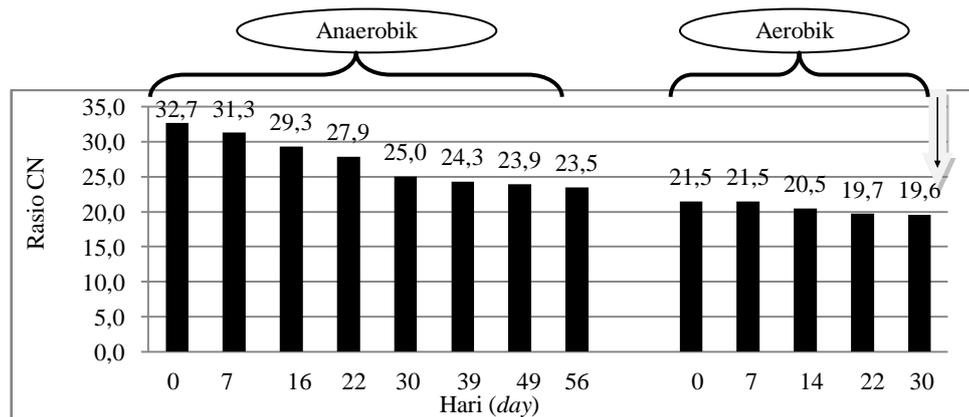
waktu inkubasi 60 hari. Kondisi kadar air pada 40% dan terlebih 20% sangat tidak kondusif untuk aktivitas jamur pendekomposisi TKKS. Kondisi ini kemungkinan menghambat proses delignifikasi di samping pH (reaksi kompos) yang terlalu basa. Walaupun demikian pengamatan suhu menunjukkan angka di atas 60°C. Suhu ini menunjukkan suhu yang cukup baik sebagai penduga terjadinya aktivitas mikroba pengompos.

Kadar O₂ berada di atas 10% yang menunjukkan bahwa proses pengomposan berjalan secara aerobik (Gambar 9). Kompos bereaksi basa yaitu dengan kisaran 7,6 hingga 8,8. Tingginya reaksi kompos diduga berasal dari senyawa organik yang bereaksi basa dan bersifat volatile. Rasio CN menurun dengan inkubasi TKKS menggunakan Actiomp (Gambar 10). Nilai rasio CN awal adalah 33 dan menurun menjadi 20,3 pada akhir inkubasi tiga bulan. Di antara waktu inkubasi yang diamati, penurunan rasio C/N yang cukup tinggi terjadi pada inkubasi satu bulan pertama.

Perlakuan kombinasi proses pengomposan dengan Actiomp dan DBLS dalam pengomposan TKKS terbukti dapat menghemat waktu pengom-

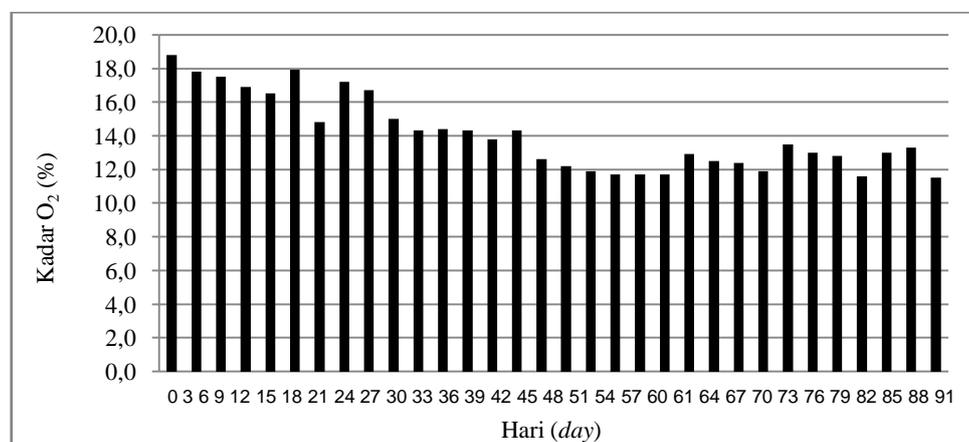
posan. Hal ini dapat dijelaskan dari hasil analisis TKKS yang dikomposkan selama tiga bulan, nilai rasio CN adalah 20,3 sedangkan dengan kombinasi pengomposan dengan Actiomp selama dua bulan ditambah DBLS dua minggu (total 2,5 bulan) (Gambar 8) atau perlakuan dengan Actiomp selama satu bulan ditambah DBLS satu bulan (total dua bulan) (Gambar 6), nilai rasio C/N 20 sudah dapat dicapai.

Hasil analisis kompos TKKS menunjukkan bahwa penambahan waktu inkubasi bakteri lignolitik khususnya pada kompos yang telah diinkubasi menggunakan Actiomp selama satu bulan, menurunkan kadar C yang cukup tinggi dan meningkatkan kadar N (Tabel 2). Peningkatan waktu inkubasi menjadi dua bulan nampaknya sedikit menurunkan kadar C dan sebaliknya terhadap kadar N TKKS. Bagaimanapun juga kombinasi pengomposan dengan Actiomp dan DBLS menghasilkan kompos dengan nilai rasio CN cukup rendah yaitu 10,29 (Actiomp 30 + DBLS 60) atau 12,64 (Actiomp 60 +DBLS40). Walaupun demikian nilai pH kompos cukup tinggi yaitu 9. Populasi kontaminan yaitu *E. coli* cukup rendah namun



Gambar 8. Rasio C/N selama pengomposan TKKS dengan Actiomp selama 60 hari dan dilanjutkan pengomposan dengan DBLS selama 30 hari.

Figure 8. C/N ratio of EFB during 60 days composting using DF and 30 days composting using LBD.



Gambar 9. Kadar oksigen selama inkubasi pengomposan TKKS menggunakan Actiomp.

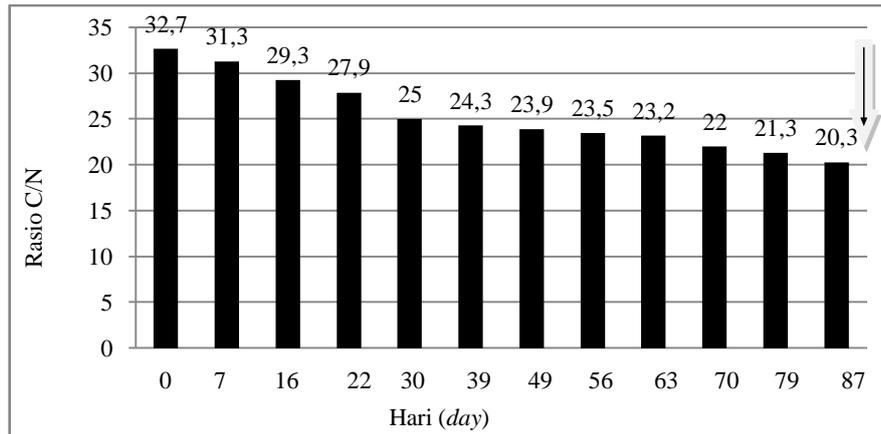
Figure 9. Oxygen concentration of EFB during composting using FD.

populasi *Salmonella* cukup tinggi yaitu 6×10^3 . Penyebab tingginya populasi *Salmonella* sp. belum dapat dijelaskan dalam penelitian ini mengingat suhu kompos sejak hari ke-3 sampai hari ke-90 di atas 60°C sehingga kedua patogen tersebut kemungkinan tumbuh sangat kecil.

Perkecambahan biji

Pengujian kualitas berbagai kompos untuk menginduksi perkecambahan biji kacang hijau juga dilakukan untuk melihat karakteristik masing-masing kompos. Penggunaan kapas atau tanah

menghasilkan perkecambahan yang tinggi (Tabel 3) dan sebaliknya penggunaan kompos TKKS dari berbagai perlakuan. Jumlah benih berkecambah tertinggi dihasilkan pada penggunaan kompos hasil proses pengomposan dengan Acticomp selama 60 hari yang diikuti dengan pengomposan dengan DBLS selama 10 hari yaitu 10,5. Bagaimanapun juga hasil ini lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah benih yang berkecambah pada kompos komersial yaitu tiga. Hal ini berarti kompos TKKS yang dihasilkan sudah cukup matang sehingga dapat langsung diaplikasi di lapang.



Gambar10. Rasio CN selama inkubasi pengomposan TKKS menggunakan Acticomp.

Figure10. C/N ratio of EFB during anerobic composting using FD.

Tabel2. Karakteristik kimia dan biologi kompos TKKS masing-masing perlakuan skala 780 ton.

Table 2. Chemical and biology characteristic of each EFB compost in scale of 780 ton.

Perlakuan Treatment	C (%)	N (%)	Rasio CN C/Nratio	pH	<i>E. coli</i> CFU g ⁻¹	<i>Salmonella</i> sp. CFU g ⁻¹
SP30+BL(30)	43,95	1,44	30,53	9,1	< 3	ttd
SP30+BL (60)	21,72	2,11	10,29	9,0	21	6.0×10^3
SP60+BL(10)	44,08	1,41	31,3	9,3	< 3	10
SP60+BL(40)	21,74	1.72	12,64	8,9	200	2.0×10^3

Tabel 3. Pengamatan jumlah kecambah kacang hijau yang berkecambah pada beberapa komposTKKS.

Table 3. The number of seed germinated on selected kind of EFB compost.

Perlakuan Treatment	Jumlah benih berkecambah pada hari ke dua Number of seed germinated on days two			Keterangan Notes
	I	II	Rata-rata	
Kapas	19	-	19	-
Top soil	20	16	18	-
Sub soil	20	19	19,5	-
FS+DBLS	2	6	4	Tumbuh jamur putih
FS2+DBLS	0	3	1,5	Tumbuh jamur putih
FS2-DBLS	0	2	1	Tumbuh jamur putih
FS4+DBLS	0	10	5	Tumbuh jamur putih
FS4-DBLS	0	5	2,5	Tumbuh jamur putih
Acticomp30+DBLS30	1	6	3,5	Tumbuh jamur putih
Acticomp30+DBLS60	0	0	0	Tumbuh jamur putih
Acticomp60+DBLS10	11	10	10,5	Tumbuh jamur putih
Acticomp60+DBLS40	0	0	0	Tumbuh jamur putih
Kompos komersial (kontrol)	0	6	3	Tumbuh jamur putih

Catatan : beberapa benih yang tidak tumbuh dikolonisasi oleh jamur

Note: some ungerminated seed colonized with fungi

Kesimpulan dan Saran

Pengomposan TKKS menggunakan Acticomp memerlukan waktu tiga bulan untuk mendapatkan rasio CN 20,3 sedangkan jika dilakukan pengomposan dengan DBLS saja, rasio CN 20 dicapai pada waktu pengomposan 70 hari. Proses penurunan rasio CN dapat dipercepat dua minggu dari total waktu pengomposan dengan Acticomp saja apabila dilakukan kombinasi antara pengomposan dengan Acticomp selama dua bulan dan dengan DBLS selama dua minggu untuk mendapatkan rasio CN 20,5. Percepatan proses pengomposan selama dua minggu dapat dicapai jika dilakukan pengomposan dengan Acticomp selama satu bulan dan diikuti dengan pengomposan dengan DBLS selama satu bulan untuk mendapat CN rasio 19,6. Namun demikian dilihat dari energi yang diperlukan khususnya untuk pembalikan pada saat pengomposan dengan DBLS (aerobik) dan pengaturan kadar air TKKS serta lebih tingginya jumlah benih yang berkecambah maka pengomposan dengan Acticomp selama dua bulan dan dilanjutkan dengan pengomposan dengan DBLS selamadua minggu adalah perlakuan yang disarankan. Dalam pengomposan ini dua bulan waktu pengomposan dengan Acticomp dapat dianggap sebagai penyimpanan (*stock pile*) yang tidak memerlukan penanganan khusus selain pemberian dekomposer serta penyediaan areal pengomposan.

Penelitian perlu dilakukan untuk mempertahankan kadar air TKKS sehingga pertumbuhan mikroba tetap stabil selain itu perlu dilakukan analisis kualitas kompos selain rasio CN untuk melengkapi karakteristik kualitas kompos sesuai standar internasional seperti tingkat kematangan kompos, laju respirasi serta kandungan senyawa organik dengan berat molekul rendah.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada Bapak Wilson Sutantio, Direktur PT. Pinago Utama, atas dukungan dana dan Bapak Khaidir Amipalupy, Bapak Silalahi, dan Bapak Gregorius Baskara atas koordinasi dan bantuan dalam pelaksanaan percobaan.

Daftar Pustaka

- Eisenlodd SD, Z Fredman, DR Zak, K Xue, Z He & J Zhou (2013). Microbial mechanisms mediating increased soil C storage under elevated atmospheric N deposition. *Appl Environ Microbiol* 79, 1191-1196.
- Fredman Z & DR Zak (2014). Atmospheric N deposition increase bacterial laccase-like multicopper oxidases: implications for organic matter decay. *Appl Environ Microbiol* 80(14), 4460-4468.
- Gary Xie, CD Bruce, JF Challacombe, O Chertkov, JC Detter, P Gilna, CS Han, S Lucas, M Misra, GLMyers, P Richardson, RTapia, N Thayer, LS Thompson, TS. Brettin, B Henrissat, DB Wilson & MJ McBride (2007). Genome sequence of the cellulolytic gliding bacterium *Cytophaga hutchinsonii*. *Appl Environ Microbiol* 73(11), 3536-3546.
- Jones DL & JR Haley (2010). Organic amendments for remediation. Putting waste to good use. *Elements* 6, 369-374.
- Koranda M, C Kaise, L Fuchslueger, B Kitzler, A Sessrtsch, S Zechmeister-Boltenstern, A Richter (2013). Fungal and bacterial utilization of organic substrates depends on substrate complexity and N availability. *FEMS Microbiol Ecol* 87(1), 142-152
- Kostylev M & D Wilson (2014). A distinct model of synergism between processive endocellulase (TfCel9A) and exocellulase (TfCel48A) from *Thermobifida fusca*. *Appl Environ Microbiol* 80(14), 339-344.
- Ottsson E, A Kubartova, M Edman, M Jonsson, A Lindhe, J Stenlid & A Dahberg (2015). Diverse ecological roles within fungal communities in decomposing logs of *Picea alies*. *FEMS Microbiol Ecol*, 91 (3).
- Prakoso HT, H Widiastuti, Suharyanto & Siswanto (2014). Eksplorasi dan karakterisasi bakteri aerob lignolitik serta aplikasinya untuk pengomposan tandan kosong kelapa sawit. *Menara Perkebunan* 82(1), 15-24.
- Quinlan RJ, MD Sweeney, LL Loggio, H Orten, JN Poulsen, KS Johansen, KBRM Krogh, CI Jergensen, M Tovborg, A Anthonsen, T Tryfona, CP Walter, P Dupree, F Xu, GJ Davies & PH Walton (2011). Insight into the oxidative degradation of cellulose by copper metalloenzyme that exploits biomass components. *PNAS* 108(37),: 15079 – 15084.
- Xizova MV, JA Izquierdo, NS Panikov & LR Lynd (2011). Cellulose-and xylan-degrading thermophilic anaerobic bacteria from biocompost. *Appl Environ Microbiol* 77(7), 2281-2291.