



Proses pengomposan tandan kosong kelapa sawit (TKKS): analisis fisik dan kenampakan organisme

Edhi Sarwono^{1*}, Dwi Ermawati Rahayu¹, Weldy Dziya Millati¹, Sariyadi²

¹Teknik Lingkungan, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

²Laboratorium Teknologi Lingkungan, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

Article history

Diterima:

2 Maret 2022

Diperbaiki:

17 Mei 2022

Disetujui:

17 Mei 2022

Keyword

Bioaktivator;

Composting;

Oil palm Fruit bunches;

Open windrow

ABSTRACT

Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) are among the processed palm oil's waste products. A tone of processed fresh oil palm fruit bunches produces 22-23% of OPEFB. Using OPEFB as mulch for the gate takes a long to decompose and triggers rhinoceros beetles as palm oil pests. Therefore, this study determined OPEFB composting process and the emerging organisms. The composting method involved open windrow with material mixture variation without leachate and EM4 (Effective microorganisms 4), with additional EM4, leachate, and leachate and EM4. OPEFB was chopped to 2-4cm, and the pieces were stacked with dimensions of (120cm x 80cm x 100cm). The results showed that adding activators in the composting process did not affect the organism's appearance. Bioactivators visually affect the texture, smell, and material color. Furthermore, temperature, pH, and humidity had a similar trend in the composting process. The organisms that emerged from the composting process include maggots, ants, fungi, and millipedes.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

*Penulis korespondensi:

Email : edhirafi@gmail.com

DOI 10.21107/agrointek.v17i2.13935

PENDAHULUAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari pengolahan tandan buah segar menjadi minyak sawit dan kernel (Haitami dan Wahyudi 2019). TKKS sering diaplikasikan di gawangan tanaman kelapa sawit sebagai mulsa yang berguna dalam mengurangi penguapan dari dalam tanah, dan *supply* pupuk organik (Kavitha *et al.* 2013; Suhaimi dan Ong 1998). Proses dekomposisi dengan cara tersebut memerlukan waktu yang lama hingga terdekomposisi seluruhnya dalam waktu sepuluh bulan setelah aplikasi (Suhaimi dan Ong 1998). Lamanya proses dekomposisi tersebut menimbulkan masalah baru karena tumpukan tandan kelapa sawit menjadi habitat bagi kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*) yang merupakan hama tanaman kelapa sawit, sehingga penggunaannya berdampak pada tingginya serangan hama kumbang tanduk di perkebunan kelapa sawit. Pemanfaatan TKKS dengan cara membakar di ruang bakar boiler juga berdampak negatif karena meningkatkan polusi udara akibat emisi yang dihasilkan. Hal ini juga sudah dilarang berdasar keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No.15 tahun 1996 tentang Program Langit Biru (KemLH 1996; Febijanto 2011)

Pemanfaatan TKKS lebih disarankan dibuat menjadi pupuk kompos karena mengandung hara yang dibutuhkan tanaman (Harahap *et al.* 2015a). Teknologi ini merupakan teknologi yang murah dan mudah dalam manajemen sampah termasuk juga dalam pemrosesan, meminimalkan dan memanfaatkan limbah padat dari agroindustri. Hal ini merujuk pada fakta bahwa pupuk organik kompos memberikan kontribusi lebih rendah terhadap dampak efek gas rumah kaca dibandingkn dengan pupuk kimia sintetis (Aziz *et al.* 2016). Pengomposan merupakan proses biologis aerobik yang mengubah bahan organik menjadi bahan yang lebih stabil dengan kandungan bahan organik terdegradasi yang rendah, sehingga menyebabkan pengurangan fitotoksisitas terhadap tanaman (Razali *et al.* 2012).

Proses pengomposan yang memakan waktu lama akan menimbulkan permasalahan, semakin lama proses pengomposan berlangsung maka semakin luas area yang diperlukan. Langkah yang dapat digunakan dalam mempercepat proses dekomposisi bahan organik dengan menambah aktivator (Purnamayani *et al.* 2012;

Kesumaningwati 2015; Aminah *et al.* 2016). Aktivator *Effective Microorganisms 4* (EM₄) mengandung lebih dari 80% populasi bakteri asam laktat dan *yeast* serta sebagian kecil bakteri fotosintetik, bakteri pemfiksasi N, dan *aktinomisetes*. *Effective Microorganisms 4* (EM₄) diharapkan dapat membantu mempercepat proses dekomposisi TKKS (Chasanah *et al.* 2013). EM 4 merupakan kultur campuran dari mikroorganisme yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman dan ternak yang dapat digunakan sebagai inokulan untuk meningkatkan keragaman dan populasi mikroorganisme. Kandungan mikroorganisme dalam EM₄ yaitu bakteri fotosintetik (*Rhodospseudomonas sp.*), bakteri asam laktat (*Lactobacillus sp.*), ragi (*Saccharomyces sp.*), *Actinomycetes*, dan jamur fermentasi (*Aspergillus* dan *Penicilium*) (Sari *et al.* 2021). Proses pengomposan juga dapat dioptimalisasi dengan adanya penambahan lindi. Lindi mengandung nutrien, bahan organik yang cukup tinggi yang dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi (Dewilda dan Apris 2016). Informasi terkait kematian organisme akibat perubahan, rentang suhu, dan faktor lainnya pada proses pengomposan masih terbatas. Faktor penting yang menjadi indikator munculnya organisme pada pengomposan adalah kemampuan hidup pada suhu tertentu, waktu pemaparan, dan faktor lain misalnya kadar air (Noble *et al.* 2009), Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan dan mengamati perubahan bahan dan kemunculan organisme selama proses pengomposan dengan metode open windrow dengan variasi penambahan EM₄ dan lindi secara visual atau yang dapat terlihat secara fisik.

METODE

Tahap Persiapan

Limbah padat TKKS berasal di pabrik pengolahan minyak sawit PT. Sawit Unggul Agro Niaga yang berlokasi di Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, Indonesia. Tandan Kosong Sawit yang digunakan berasal dari proses pelepasan berondolan dari tandan sawit dari mesin *Thresher* pabrik minyak sawit. Metode komposting adalah open windrows tanpa penutup bahan di atasnya. Lindi yang digunakan dari hasil penumpukan TKKS yang telah dicacah dengan ukuran 2-4 cm (Abrir *et al.* 2019).

Proses Komposting

Dimulai dengan mencacah TKKS hingga ukuran mencapai 2-4cm (Abrir *et al.* 2019), berat TKKS yang digunakan 50kg, dimensi penumpukkan TKKS dengan panjang, lebar, dan tinggi digunakan 120cm x 80cm x 100cm. Tumpukan bahan komposting dibuat dalam 4 variasi yaitu :

1. Reaktor A komposting tanpa penambahan lindi dan EM4
2. Reaktor B komposting dengan penambahan EM4 sebanyak 3000ml
3. Reaktor C komposting dengan penambahan lindi sebanyak 3000ml
4. Reaktor D dengan penambahan lindi sebanyak 1500 ml dan EM4 sebanyak 1500 ml

Selama proses pengomposan, dilakukan pengadukkan jika suhu bahan komposting diatas suhu termofilik ($>45^{\circ}\text{C}$) (Chasanah *et al.* 2013).

Pengukuran dan Pengambilan Sampel

Pengukuran suhu menggunakan termometer sesuai SNI (19-7030-2004), pengukuran pH menggunakan pH meter (SNI 19-7030-2004), pengukuran kelembaban dengan *soil tester* pada tiga titik tumpukan kompos yaitu atas bawah tengah dilakukan setiap hari selama 40 hari. Sedangkan metode pengamatan kenampakan organisme selama proses pengomposan dilakukan secara visual yang terlihat secara fisik dengan mengidentifikasi munculnya organisme pada bahan komposting dan observasi terhadap perubahan fisik dan bentuk yang terjadi selama proses pengomposan (SNI 19-7030-2004). Pengamatan fisik perubahan warna kompos dilakukan dengan buku *munsell soil colour chart*.

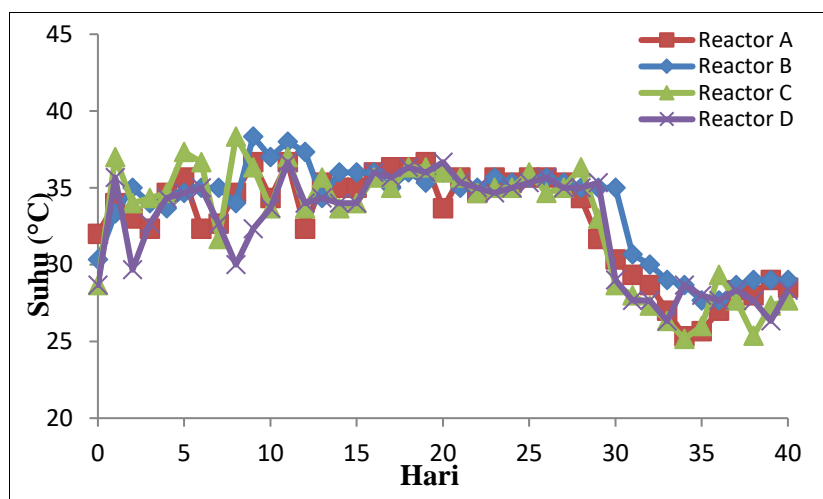
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Suhu Harian

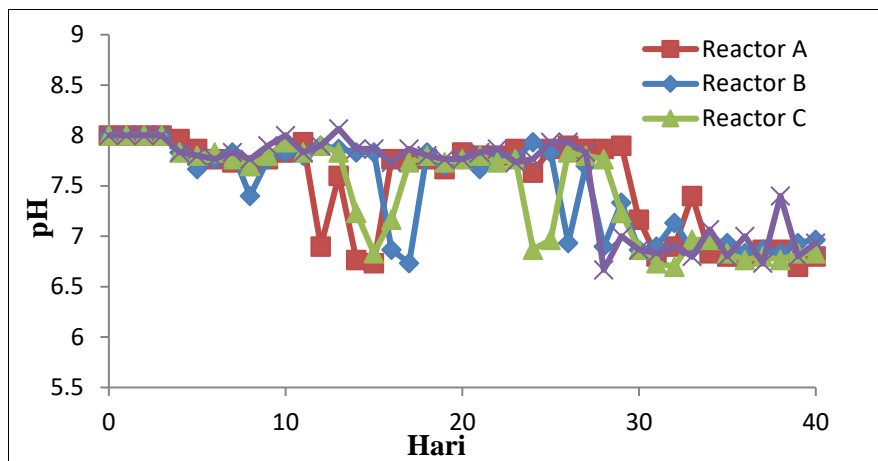
Kenaikkan suhu yang berfluktuasi terjadi pada awal proses komposting sampai sekitar hari ke-10 menunjukkan bahan mulai terdekomposisi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.

Selama proses dekomposisi oleh mikroorganisme akan menghasilkan unsur hara dan energi sebagai panas sehingga suhu mengalami kenaikan. Panas yang dihasilkan akan digunakan lagi oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan dan sebagian akan terbuang ke lingkungan. Setiap proses dekomposisi berjalan, maka akan dihasilkan panas sehingga suhu bahan akan terus mengalami kenaikan, bahkan sampai fase termofilik ($40-60^{\circ}\text{C}$) (Lim *et al.* 2015). Pada kondisi tersebut mikroorganisme juga mengalami perubahan mulai dari mikroorganisme psikofilik, mesofilik hingga termofilik. Fase termofilik adalah fase dekomposisi yang paling optimal, bahan organik akan terdekomposisi secara cepat dan suhu akan kembali ke fase mesofilik kedua seiring dengan menurunnya kandungan bahan organik sebagai substrat bagi mikroorganisme. Selanjutnya pada saat bahan organik mulai habis terdekomposisi suhu akan cenderung tetap dan mengalami stabilisasi.

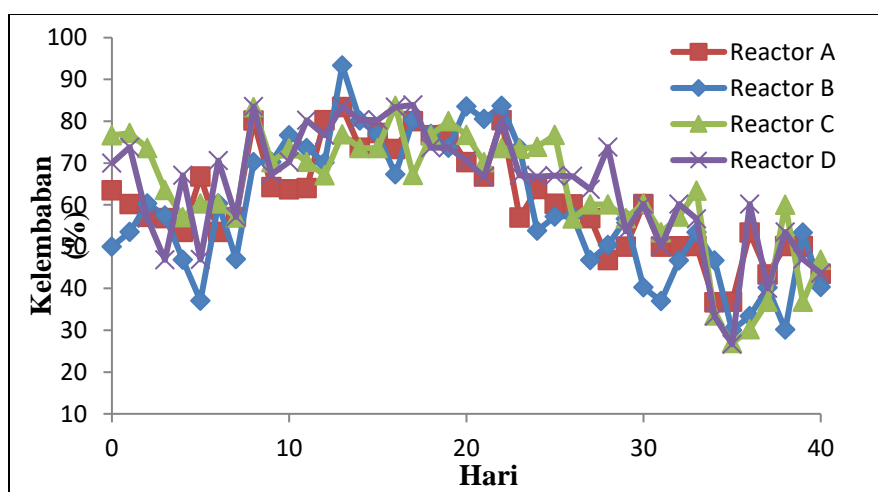
Namun pada penelitian ini suhu maksimal yang dicapai ada pada rentang suhu mesofilik yaitu suhu $37-38^{\circ}\text{C}$. Pada masing-masing reaktor terlihat cenderung mengalami tren yang sama dan tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Hasil penelitian menunjukkan suhu bahan komposting berkisar pada suhu $25-38^{\circ}\text{C}$ dengan suhu tertinggi pada variasi bahan TKKS dengan lindi yaitu 38°C .



Gambar 1 Grafik rata-rata perubahan suhu selama proses pengomposan



Gambar 2 Grafik rata-rata perubahan pH selama proses pengomposan



Gambar 3 Grafik rata-rata perubahan kelembaban selama proses pengomposan

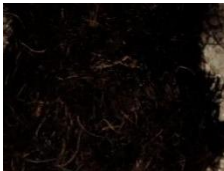
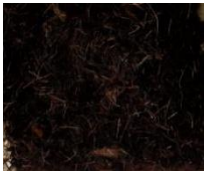

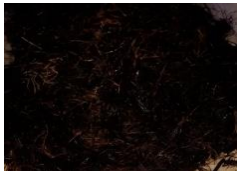
Pencapaian suhu pada penelitian ini dimungkinkan karena pengaruh suhu ruangan selama proses pengomposan dan proses dekomposisi yang terjadi. Suhu ruangan, tingginya tumpukan dan penutupan bahan berpengaruh terhadap hilangnya suhu ke lingkungan. Secara keseluruhan pada semua reaktor kompos, suhu maksimal yang dicapai adalah suhu mesofilik. Penelitian Harahap *et al.* (2015b) yang menggunakan variasi campuran EFB dengan kotoran sapi, ayam, dan kambing juga menunjukkan perubahan yang sama yaitu proses pengomposan berlangsung pada fase mesofilik. Suhu mulai stabil di kisaran 25-28°C pada hari ke 35-40 yang mengindikasikan bahwa proses degradasi sudah komplit. Hal ini sesuai sebagaimana penelitian Trisakti *et al.* (2018) dengan suhu stabil 27°C di akhir proses,

Pengukuran pH harian

Berdasar gambar 2, rata-rata perubahan nilai pH bahan komposting terlihat nilai pH menurun di fase awal pengomposan sampai sekitar hari ke 15-

17. Namun setelah stabil di pH 7,7-7,9 bahan mengalami penurunan lagi pada hari ke 24-28 dan selanjutnya stabil sampai akhir proses di kisaran pH 6,8-7,1. Kenaikan pH terjadi karena peningkatan ion alkali amonium dalam bentuk amonia yang dihasilkan dari reaksi biokimia dari unsur yang mengandung nitrogen dalam jumlah terbatas (Hau *et al.* 2020). Berdasar variasi bahan yang digunakan variasi dengan penamabahan lindi dan EM4 menunjukkan penurunan PH yang signifikan dibandingkan variasi bahan lainnya pada hari ke-10 sampai hari ke-20. Kandungan kadar air, proses dekomposisi oleh mikroorganisme menjadi faktor fluktuasi bahan. Pada semua reaktor hasil akhir kompos memenuhi kriteria kompos menurut SNI 19-7030-2004 yaitu pH kompos pada rentang 6,80-7,49.

Tabel 1 Pengamatan fisik dan kenampakan organisme selama proses pengomposan

Pengamatan Fisik dan Kenampakan Organisme	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C	Reaktor D
Warna				
Fase Awal proses pengomposan	10YR 6/6 Cokelat kekuningan cerah	10YR 5/8 Cokelat	10 YR 5/4 Cokelat kekuningan kusam	10YR 5/4 Coeklat kekuningan pudar
Fase Pertengahan proses pengomposan	10YR 4/3 Cokelat terang, mulai hari ke 15 10YR 3/3 Cokelat gelap, mulai hari ke 20	10YR 4/4 Cokelat, mulai hari ke-15 10YR 3/2 Cokelat sangat gelap, Mulai hari ke 25	10YR 4/3 Cokelat, mulai hari ke 15 10YR 3/2 Cokelat sangat gelap, Mulai hari ke 20	10YR 4/3 Cokelat, mulai hari ke 10 10YR 3/2 Cokelat sangat gelap, Mulai hari ke 18
Fase akhir proses pengomposan	 10 YR 3/1 Cokelat sangat gelap Mulai hari ke 35	 10 YR 2/2 Hitam kecokelatan Mulai hari ke 35	 10 YR 2/2 Hitam kecokelatan Mulai hari ke 32	 10 YR 2/2 Hitam kecokelatan Mulai hari ke 30
Tekstur				
a. Masih seperti bahan baku berupa serabut kasar	Sampai hari ke 10	Sampai hari ke 8	Sampai hari ke 8	Sampai hari ke 10
b. Mulai terdekomposisi tetapi tidak merata di seluruh bagian	Mulai hari ke 22	Mulai hari ke 15	Mulai hari ke 15	Mulai hari ke 18
c. Mulai lunak dan terdekomposisi	Mulai hari ke 35	Mulai hari ke 35	Mulai hari ke 32	Mulai hari ke 30
d. Lunak dan terdekomposisi, ukuran menjadi lebih kecil	Hari ke 40	Hari ke 40	Hari ke 40	Hari ke 40
Pengamatan Fisik dan Kenampakan Organisme	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C	Reaktor D
Organisme				

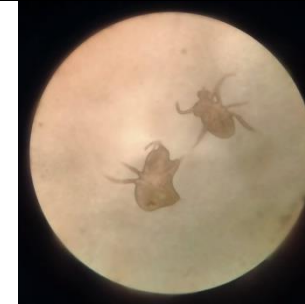
a. Kemunculan hewan renik transparan



Hari ke 4



Hari ke 4



Hari ke 4



Hari ke 4

b. Kemunculan hewan kecil seperti belatung putih, cokelat dan hitam, kaki seribu, semut putih.



Belatung putih, hari ke 20



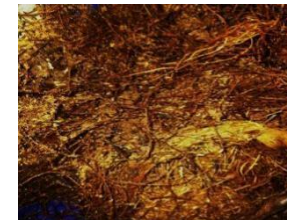
Kaki seribu, hari ke 15



Belatung putih, hari ke 8



Belatung cokelat, hari ke 30



Semut putih, hari ke 20-32

Pengamatan Fisik dan Kenampakan Reaktor A Organisme

Reaktor B

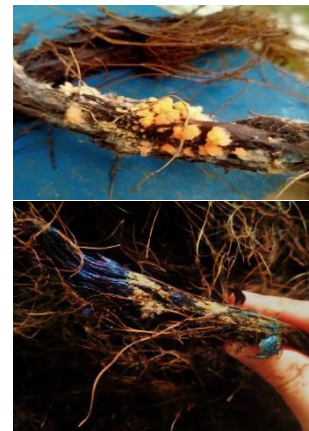
Reaktor C

Reaktor D

c. Jamur



Jamur oranye , hari ke 10-15



Jamur oranye, hari ke 10-15



Jamur putih, hari ke 20-26

Selama proses komposting mikroorganisme akan terlebih dahulu mendekomposisi lemak dan protein yang terlarut. Pada proses tersebut akan dihasilkan asam-asam organik sehingga bahan kompos mengalami penurunan pH. pH bahan komposting akan kembali ke pH netral setelah produksi asam-asam organik berhenti (Crohn, 2016; Rahmadanti *et al.*, 2019). Selama proses pengomposan fluktuasi pH tersebut diduga pengaruh dari proses pelindian yang terjadi, dimana asam-asam organik akan tercuci akibat pelepasan kadar air dalam bahan. Selain itu faktor pembalikan kompos juga memengaruhi pemerataan dekomposisi pada seluruh bagian bahan kompos. Pada penelitian Okalia *et al.* (2018) menggunakan TKKS berukuran 1-5 cm pH akhir pengomposan menunjukkan nilai yang serupa dengan penelitian ini yaitu pH akhir 6,97.

Pengukuran Kelembaban Harian

Kelembaban bahan komposting akan bergantung pada kadar air awal bahan. Pada tahap awal terlihat kelembaban mengalami penurunan pada semua variasi bahan. Hal tersebut menunjukkan terjadinya proses pelindian, dimana kadar air pada bahan dilepaskan seiring dengan volume lindi yang tertampung. Pada hari ke-10 sampai hari ke-20 kelembaban cenderung mengalami kenaikan dan mengalami penurunan pada hari ke-21 sampai hari ke-40 sebagaimana data pada gambar 3. Kelembaban pada bahan selain dipengaruhi oleh kadar air juga suhu bahan yang dihasilkan. Kelembaban akan stabil pada hari ke-35 sampai hari ke-40, diduga bahan mulai mengalami fase stabilisasi. Fase ini menunjukkan kondisi kematangan kompos.

Kelembaban merupakan faktor penting karena kandungan air sangat memengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dekomposer selama proses pengomposan. Mikroorganisme akan memanfaatkan bahan organik yang larut di dalam air. Kisaran kelembaban optimum untuk metabolisme mikroba adalah 40–60 % (Warsito *et al.* 2016). Selain itu kelembaban juga memengaruhi porositas bahan, agregat partikel, dan permeabilitas gas. Kelembaban tinggi (40-60%) dapat memaksimalkan penyerapan oksigen kedalam material kompos (Wahi dan Yusup 2016). Pada penelitian ini pada semua reaktor di akhir proses pengomposan telah dicapai kelembaban optimum untuk kompos yaitu di kisaran 40,3-46,8 yang sesuai dengan standar SNI

19-7030-2004 yang mensyaratkan kompos mempunyai kelembaban kurang dari 50 %.

Perubahan Tekstur Material Kompos dan Kenampakan Organisme

Perubahan tekstur, warna dan kenampakan organisme (Tabel 1) terlihat serupa dari masing-masing variasi bahan yang dilakukan komposting. Perubahan tersebut merupakan tahapan proses dekomposisi selama proses komposting TKKS selama 40 hari. Warna bahan kompos menunjukkan perubahan dari warna cokelat menjadi kehitam-hitaman dan tekstur yang awalnya keras menjadi menjadi lunak. Perubahan tekstur bahan komposting dipengaruhi oleh dekomposisi bahan yang dilakukan makro dekomposer dan mikro dekomposer. Kemunculan belatung, jamur, serangga, dan organisme lainnya berperan dalam perubahan tekstur bahan dengan memotong bahan menjadi ukuran yang lebih kecil dan memperluas permukaan bahan. Dengan permukaan bahan yang lebih luas lebih banyak mikroorganisme yang tumbuh untuk dapat mendekomposisi bahan menjadi unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Volume bahan mengalami penyusutan volume seiring dengan perubahan tekstur dan lamanya proses komposting.

Selain perubahan tekstur, kenampakan organisme yang muncul selama proses komposting juga mengalami kemiripan dari masing-masing variasi bahan yang digunakan. Organisme yang terlihat muncul adalah jenis serangga, belatung berwarna putih, belatung berwarna cokelat, belatung berwarna hitam, dan hewan kaki seribu. Organisme yang terlihat tersebut berperan dalam proses dekomposisi bahan sebagai makro dekomposer. Kenampakan jamur juga bervariasi yaitu jamur oranye (*Phlebia radiata*) jamur yang mampu mengdegradasi bahan lignoselulosa (Ariana dan Candra 2017), jamur putih (*Plourotus Ostreatus*) yang memiliki produksi enzim aktivitas yang tinggi.

Pada penelitian Tahir *et al.* (2019), tipe fungi yang dominan ditemukan pada pelapukan TKKS setelah 6 bulan di aplikasikan adalah dari kelompok *phylum ascomycota* dan *proteobacteria*. Sedangkan penelitian Idris *et al.* (2019) yang melakukan isolat jamur pelapuk TKKS diperoleh hasil yaitu *Tremella sp*, *Trichoderma sp*, *Phytophthora sp*, *Ulocladium sp*, *Chaetomium sp* dan *Absidia sp*. Ragam koloni fungi ini selain dipengaruhi faktor genetik, juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di daerah

sampel media pertumbuhan, termasuk sumber karbon, pH dan suhu (Idris *et al.* 2019). Fungi memperoleh *nutrient* dari bahan tanaman yang mati. Sehingga dalam proses pengomposan fungi akan memecah material menjadi bagian kecil yang akan dilanjutkan oleh bakteri untuk proses dekomposisi bahkan tanpa selulosa. Terdapat filament panjang yang disebut *hyphae* yang dapat melakukan penetrasi ke dalam material kompos untuk melakukan dekomposisi secara kimia dan mekanikal pada material organik yang sulit terdekomposisi seperti lignin dan selulosa. Organisme ini berada pada fase termofilik dan mesofilik pada pengomposan aerobik dan berada pada bagian sisi luar material ketika suhu tinggi. Suhu yang disukai adalah pada interval 21-24°C (Lee 2016). Pada penelitian ini, suhu berada pada fase mesofilik dengan kemunculan fungi pada hari ke-10 sampai ke-26. Penambahan bioaktivator yang mengandung himpunan mikroorganisme yang banyak ke dalam populasi mikroorganisme indigenus akan membantu proses degradasi bahan organik kompos. Namun jumlah mikroorganisme ini akan menurun seiring waktu (Abu-Bakar and Ibrahim 2013). Sehingga penambahan lindi yang diproduksi selama proses pengomposan dapat ditambahkan sebagaimana pada penelitian ini.

Penambahan aktivator berupa EM4 dan Lindi tidak berpengaruh terhadap kemunculan organisme dan jamur selama proses komposting, tetapi penambahan aktivator berpengaruh terhadap perubahan tekstur, warna dan bau dari bahan komposting tandan kosong sawit. Hal tersebut menunjukkan bahwa aktivator dapat mempercepat proses dekomposisi bahan dari mikroorganisme yang ditambahkan pada bahan komposting. Penambahan aktivator akan menambah jumlah mikroorganisme dekomposer dibandingkan dengan bahan yang tanpa penambahan aktivator. Warna bahan dengan penambahan aktivator mengalami perubahan warna menjadi lebih gelap yang berlangsung lebih cepat dibanding tanpa penambahan warna. Produk akhir kompor berwarna hitam kecoklatan sesuai dengan standar kompos menurut SNI 19-730-2004 yaitu berwarna kehitaman dan berbau tanah, sedangkan bahan tanpa aktivator masih terlihat muncul serat dan berbau kayu. Hal tersebut menunjukkan bahwa masih tersisa lignoselulosa yang belum terdekomposisi selama 40 hari proses pengomposan. Sedangkan warna dan bau yang menyerupai tanah menunjukkan bahan organik telah terdekomposisi secara sempurna dan telah mengalami proses stabilisasi.

KESIMPULAN

Penambahan aktivator lindi dan EM4 tidak menimbulkan perbedaan kemunculan organisme selama proses komposting TKKS dengan metode *open windrow*. Namun penambahan aktivator berpengaruh terhadap perubahan tekstur bahan, bau, dan warna bahan. Suhu, pH, dan kelembaban menunjukkan pola yang serupa selama proses komposting. Organisme yang muncul pada proses pengomposan adalah jamur, belatung, semut, jamur, dan kaki seribu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan kepada Universitas Mulawarman yang telah memberikan hibah penelitian melalui dana bantuan Hibah Peneliti (PIU) IsDB Loan Tahun 2021. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada PT. Sawit Unggul Agro Niaga, Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, atas ijin pengambilan sampel bahan baku TKKS.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrir, A.R., Ahmad, A., Andrio, D. 2019. Kinerja Teknik Pengomposan Limbah Tandan Kosong Sawit Menggunakan Metode Windrow Aerob Ditinjau dari Rasio C/N. *JOM FTEKNIK*. 6(2):1-7.
- Abu-Bakar, N.A., Ibrahim, N. 2013. Indigenous microorganisms production and the effect on composting process. *AIP Conf Proc*. 1571(December 2013):283-286. doi:10.1063/1.4858669.
- Aminah, S., Muttalib, A., Norkhadajah, S., Ismail, S., Praveena, S.M. 2016. Application of Effective Microorganism (EM) in Food Waste Composting : A review Application of Effective Microorganism (EM) in Food Waste Composting : A review. 2(April):37-47.
- Ariana, A., Candra, K.P. 2017. Isolation and characterization of lignocellulolytic microbes from oil palm empty fruit bunches (EFB). *Sustinere J Environ Sustain*. 1(1):1-9. doi:10.22515/sustinere.jes.v10i23.2.
- Aziz, R., Chevaki dagarn, P., Danteravanich, S. 2016. Environmental impact evaluation of community composting by using life cycle assessment: A case study based on types of compost product operations. *Walailak J Sci Technol*. 13(3):221-233. doi:10.14456/vol13iss4pp.

- Chasanah, U. Rahmawati, L.R., Iskarlia, G. 2013. Optimasi Proses Dekomposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) Menggunakan Aktivator EM4. *Polhasains*. 3(1):28–34.
- Crohn, D.M. 2016. Assessing Compost Quality for Agriculture. *ANR Publ.*:1–11. doi:10.3733/ucanr.8514.
- Dewilda, Y., Apris, I. 2016. Studi optimasi kematangan kompos dari sampah organik dengan penambahan bioaktivator limbah rumen dan air lindi. *Semin Nas Sains dan Teknol Lingkung.*:95–100.
- Febijanto, I. 2011. Kajian Teknis & Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit ; Kasus : Di Pabrik Kelapa Sawit Pinang Tinggi, Sei Bahar, Jambi *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*. 02(1):11–22.
- Haitami, A., Wahyudi, W. 2019. Pengaruh Berbagai Dosis Pupuk Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit Plus (Kotakplus) Dalam Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol. *J Ilm Pertan*. 16(1):56–63.
- Harahap, R., Sabrina, T., Marbun, P. 2015a. Penggunaan Beberapa Sumber dan Dosis Aktivator Organik Untuk Meningkatkan Laju Dekomposisi Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit. *J Agroekoteknologi Univ Sumatera Utara*. 3(2):104139.
- Harahap, R., Sabrina, T., Marbun, P. 2015b. Penggunaan Beberapa Sumber dan Dosis Aktivator Organik untuk Meningkatkan Laju Dekomposisi Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit. *J Agroekoteknologi Univ Sumatera Utara*. 3(2):104139. doi:10.32734/jaet.v3i2.10304.
- Hau, L.J., Shamsuddin, R., May, A.K.A., Saenong, A., Lazim, A.M., Narasimha, M., Low, A. 2020. Mixed Composting of Palm Oil Empty Fruit Bunch (EFB) and Palm Oil Mill Effluent (POME) with Various Organics: An Analysis on Final Macronutrient Content and Physical Properties. *Waste and Biomass Valorization*. 11(10):5539–5548. doi:10.1007/s12649-020-00993-8. https://doi.org/10.1007/s12649-020-00993-8.
- Idris, M.Y., Sapareng, S., Halid, I. 2019. Isolasi Dan Karakteristik Jamur Pelapuk Dari Batang Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *AGROTEK J Ilm Ilmu Pertan*. 2(2):29–38. doi:10.33096/agrotek.v2i2.59.
- Kavitha, B., Jothimani, P., Rajannan, G. 2013. Empty Fruit Bunch- A Potential Organic Manure For Agriculture. *Int J Sci Environ*. 2(5):930–937.
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup. 1996. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No . 15 Tahun 1996 Tentang : Program Langit Biru.
- Kesumaningwati, R. 2015. Penggunaan MOL Bonggol Pisang (*Musa paradisiaca*) Sebagai Dekomposer Untuk Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Ziraa'ah* 40(1):40–45.
- Lee, Y. 2016. Various Microorganisms' Roles in Composting: A Review. *APEC Youth Sci J*. 8(1):11–15. http://www.sigs.or.kr.
- Lim, L.Y., Bong, C.P.C., Chua, L.S., Lee, C.T. 2015. Physicochemical profile of microbial-assisted composting on empty fruit bunches of oil palm trees. *Environ Sci Pollut Res*. 22(24):19814–19822. doi:10.1007/s11356-015-5156-5.
- Noble, R., Elphinstone, J.G., Sansford, C.E., Budge, G.E., Henry, C.M. 2009. Management of plant health risks associated with processing of plant-based wastes: A review. *Bioresource Technology*, 100(14), 3431–3446. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2009.01.052
- Okalia, D., Nopsagiarti, T., Ezward, C. 2018. Pengaruh Ukuran Cacahan Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Karakteristik Fisik Kompos Tritankos (Triko Tandan Kosong). *J Agroqua Media Inf Agron dan Budid Perair*. 16(2):132. doi:10.32663/ja.v16i2.523.
- Purnamayani, R., Hendri, J., Salvia, E., Gusfarina, D. 2012. Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Pupuk Organik dengan Berbagai Dekomposer. *Repos Publ Kementrian Pertan.*:748–756.
- Rahmadanti, M.S., Pramana, A., Okalia, D., Wahyudi, W. 2019. Uji Karakteristik Kompos (pH, Tekstur, Bau) Pada Berbagai Kombinasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dan Kotoran Sapi Menggunakan Mikroorganisme Selulolitik (MOS). *J Ilm Teknosains*. 5(2):105–112. doi:10.26877/jitek.v5i2.4717.

- Razali, W.A.W., Baharuddin, A.S., TarmezeeTalib, A., Sulaiman, A., Naim, M.N., Hassan, M.A., Shirai, Y. 2012. Degradation of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) fibre during composting process using in-vessel composter. *BioResources*. 7(4):4786–4805. doi:10.15376/biores.7.4.4786-4805.
- Sari, N.P., Rinaldi, Rodhiyah, Z. 2021. Pengaruh Perbedaan Tinggi Tumpukan Kompos terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella sp.* pada Kompos Sampah Organik Pasar dan Limbah Padat Rumah Potong Hewan. *J Eng*. 3(1):44–55.
- Suhaimi, M., Ong, H.K. 1998. Composting Empty Fruit Bunch of Oil Palm. *Malaysian Agric Res Dev Inst.*:23–31.
- Tahir, A.A., Barnoh, N.F.M., Yusof, N., Said, N.N.M., Utsumi, M., Yen, A.M., Hashim, H., Noor, M.J.M.M., Akhir, F.N.M.D., Mohamad, S.E., Sugiura, Norio., Othman, Nor'Azizi., Zakaria, Zuriati., Hara, Hirofumi. 2019. Microbial diversity in decaying oil palm empty fruit bunches (OPEFB) and isolation of lignin-degrading bacteria from a tropical environment. *Microbes Environ*. 34(2):161–168. doi:10.1264/jsme2.ME18117.
- Trisakti, B., Mhardela, P., Husaini, T., Irvan, Daimon, H. 2018. Production of oil palm empty fruit bunch compost for ornamental plant cultivation. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 309(1). doi:10.1088/1757-899X/309/1/012094.
- Wahi, R., Yusup I.A. 2016. Empty Fruit Bunches Compost and Germination of *Raphanus sativus L.* *Borneo J Resour Sci Technol*. 6(1):10–18. doi:10.33736/bjrst.210.2016.
- Warsito, J., Sabang, S.M., Mustapa, K. 2016. Pembuatan Pupuk Organik Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *J Akad Kim*. 5(1):8–15.