

Mempercepat Pengomposan Limbah Sawit: Pengaruh Dosis Bioaktivator Stardec terhadap Kualitas dan Waktu Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit

Indrawati*, Wildan Shalihy, Wawan

Program Studi Teknologi Produksi Tanaman Perkebunan, Politeknik Pembangunan Pertanian
Manokwari

*Email Korespondensi: indrawatimkw5923@gmail.com

Abstrak

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki kandungan serat dan rasio C/N yang tinggi (45–55) sehingga proses pengomposan alami dapat memakan waktu lebih dari tiga bulan hingga tahunan, oleh karena itu diperlukan penambahan bioaktivator untuk mempercepat dekomposisi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh dosis bioaktivator Stardec terhadap kualitas kimia dan kecepatan pengomposan TKKS. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap non-faktorial dengan empat taraf dosis Stardec (P0: 0 g; P1: 10 g; P2: 20 g; P3: 30 g) dan tiga ulangan, sehingga diperoleh 12 unit percobaan, dengan parameter kualitas kimia (C-organik, N-total, rasio C/N, pH) dan kualitas visual (warna, tekstur, aroma) yang diamati selama 30 hari. Hasil penelitian menunjukkan dosis Stardec 30 gram (P3) memberikan performa terbaik dengan kandungan C-organik tertinggi (18,39%), N-total tertinggi (1,49%), dan rasio C/N terendah (12,00) yang telah memenuhi SNI 19-7030-2004 (<25), serta pH akhir tertinggi (7,20) pada hari ke-30. Secara visual, P3 dan P2 (20 g) menunjukkan percepatan perubahan warna, tekstur, dan aroma yang konsisten lebih cepat, mulai terlihat pada hari ke-16, dibandingkan P0 dan P1 yang baru menunjukkan perubahan serupa pada hari ke-19 hingga ke-25. Temuan ini menegaskan bahwa aplikasi bioaktivator Stardec, khususnya pada dosis 30 gram, efektif mempercepat proses dekomposisi sekaligus meningkatkan kualitas kompos TKKS, dan berpotensi menjadi solusi praktis bagi pengelolaan limbah kelapa sawit yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Bioaktivator Stardec, Pengomposan, Tandan Kosong Kelapa Sawit

Abstract

Oil palm empty fruit bunches (EFB) contain high fiber and C/N ratio (45–55), causing natural composting to take more than three months or even years, thus requiring the addition of a bioactivator to accelerate decomposition. This study aimed to evaluate the effect of Stardec bioactivator dosage on the chemical quality and composting rate of EFB. A non-factorial Completely Randomized Design was applied with four Stardec dosage levels (P0: 0 g; P1: 10 g; P2: 20 g; P3: 30 g) and three replications, yielding 12 experimental units, with chemical quality parameters (organic C, total N, C/N ratio, pH) and visual quality parameters (color, texture, aroma) monitored over 30 days. Results showed that the 30-gram Stardec dose (P3) produced the best performance, with the highest organic C content (18.39%), the highest total N (1.49%), and the lowest C/N ratio (12.00), meeting the SNI 19-7030-2004 standard (<25), along with the highest final pH (7.20) on day 30. Visually, P3 and P2 (20 g) consistently showed faster changes in color, texture, and aroma, first observed on day 16, compared with P0 and P1, which only showed similar changes between days 19 and 25. These findings confirm that Stardec bioactivator application, particularly at a dose of 30 grams, effectively accelerates the decomposition process while improving EFB compost quality, offering a practical solution for more efficient and environmentally sound management of oil palm waste.

Keywords: Composting, Oil Palm Empty Fruit Bunch, Stardec Bioactivator

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis di Indonesia yang terus mengalami pertumbuhan luas lahan dan kapasitas produksi. Sebagai salah satu komoditas strategis nasional yang diharapkan mampu menjadi salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan, perluasan lahan kelapa sawit akan terus meningkat setiap tahunnya. Seiring dengan peningkatan produksi minyak sawit mentah, industri ini juga menghasilkan limbah padat dalam volume yang masif.

Salah satu limbah padat terbesar yang dihasilkan dari proses pengolahan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), yang jumlahnya mencapai 21–23% dari total Tandan Buah Segar (TBS) yang diolah, dimana setiap pengolahan 1 ton TBS dipastikan menghasilkan sekitar 220–230 kg TKKS atau setara dengan 7,87 ton per ha pertahunnya, sedangkan untuk limbah pelepah kelapa sawit sekitar 16,3 -10 ton per ha per tahunnya (Pahan, 2006; Aholoukpé et al., 2013).

Sebagai gambaran nyata pada skala regional perkebunan, areal perkebunan seperti PT Medco Papua Hijau Selaras di Kabupaten Manokwari yang memiliki 9.321 hektare tanaman menghasilkan saja dapat memproduksi sekitar 46.307 ton TKKS per tahun. Perusahaan ini memulai operasional pabrik pengolahan kelapa sawit sejak tahun 2015 (Bompaya, 2025) dan sejak itu terus menghasilkan limbah TKKS sehingga diproyeksikan hingga tahun 2025 telah terdapat sekitar 463.070 ton TKKS. Limbah ini belum dikelola secara optimal sehingga penumpukan TKKS di area pabrik atau lahan sekitar perkebunan memunculkan rumpukan bahkan bukit-bukit TKKS yang berpotensi menimbulkan masalah lingkungan yang serius, seperti pencemaran udara dan air, estetika lahan, sarang hama *Oryctes rhinoceros*, serta melepaskan gas metana ke atmosfer sehingga rawan menimbulkan kebakaran.

Meskipun menjadi masalah lingkungan, TKKS sebenarnya menyimpan potensi besar untuk dikembalikan ke lahan sebagai pupuk organik karena kaya akan unsur hara penting seperti Kalium (K), Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Magnesium (Mg). Pemanfaatan TKKS sebagai pupuk organik melalui proses pengomposan merupakan strategi terbaik untuk mendukung pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*). Namun, kendala utama dalam pengomposan mandiri TKKS secara alami adalah strukturnya yang sangat kuat dan tebal. TKKS didominasi oleh senyawa makromolekul kompleks yang persisten, yaitu selulosa (40–50%), hemiselulosa (25–35%), dan lignin (15–25%) (Sutarta & Rahutomo, PPKS; Henson, 1999). Secara karakteristik fisikokimia, TKKS dicirikan oleh struktur serat lignoselulosa yang sangat tebal dan rigid, sehingga resisten terhadap degradasi mikroba alami. Proses pengomposan tanpa intervensi teknologi memerlukan waktu lebih dari 3 hingga 12 bulan. Hal ini disebabkan oleh tingginya rasio C/N awal TKKS yang berkisar antara 45 hingga 55. Tingginya rasio tersebut berisiko memicu imobilisasi nitrogen di dalam

tanah jika diaplikasikan langsung secara mentah, yang justru merugikan pertumbuhan tanaman (Pahan, 2006; Aholouké *et al.*, 2013). Upaya mereduksi nilai rasio C/N ini dilakukan melalui rekayasa pengomposan terkontrol hingga mencapai rasio C/N tanah yang ideal berkisar 15.

Untuk memotong durasi dekomposisi yang lama, diperlukan manipulasi spesifik melalui perlakuan mekanik (pencacahan ukuran) serta perlakuan biologis seperti bioaktivator mikroorganisme eksogen. Penambahan inokulum perombak lignin dan selulosa berupa bioaktivator komersial merupakan pendekatan mutakhir yang aplikatif, ekonomis, dan ramah lingkungan. Salah satu bioaktivator komersial yang potensial adalah Stardec yang mengandung konsorsium mikroba unggul, termasuk bakteri lignolitik, selulolitik, dan proteolitik yang diisolasi dari rumen sapi. Bioaktivator Stardec mengandung konsorsium isolate mikroba unggul terpurifikasi yang memiliki kemampuan tinggi memutus rantai polimer selulosa dan lignin secara akseleratif (Kurnia *et al.*, 2001; Zahari *et al.*, 2003).

Kehadiran mikroba-mikroba ini diharapkan mampu memutus ikatan kompleks lignin dan menghidrolisis kandungan selulosa pada TKKS secara lebih agresif. Melalui percepatan hidrolisis senyawa kompleks tersebut, siklus panas pengomposan dapat berjalan lebih optimal sehingga waktu pematangan kompos dapat dipangkas secara signifikan. Selain mempercepat waktu, aktivitas enzimatik dari mikroba dalam Stardec juga berpotensi meningkatkan kualitas kimia kompos, seperti menurunkan rasio C/N hingga mencapai standar baku mutu pupuk organik, serta meningkatkan kelarutan unsur hara esensial bagi tanaman.

Meskipun potensi bioaktivator berbasis rumen telah banyak diketahui, studi spesifik mengenai dinamika pengaruh efektivitas dosis Stardec terhadap efisiensi waktu pematangan sekaligus kualitas akhir fisik dan kimia kompos berbahan baku 100% TKKS masih perlu diperdalam. Informasi ini krusial untuk memberikan rekomendasi praktis bagi industri perkebunan kelapa sawit dalam mempercepat proses *zero-waste management*. Berdasarkan pemikiran tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh efektivitas aplikasi bioaktivator Stardec terhadap profil visual, kualitas fisik-kimia serta efisiensi waktu pematangan selama proses pengomposan limbah tandan kosong kelapa sawit.

METODE

Penelitian eksperimental ini diselenggarakan di Laboratorium Pertanian Terpadu Politeknik Pembangunan Pertanian (Polbangtan) Manokwari, Distrik Manokwari Barat, Provinsi Papua Barat. Fase observasi dan pengujian berlangsung secara kontinu dari bulan Maret sampai dengan Juli 2025.

Perangkat kerja yang dioperasikan meliputi wadah plastik/toples berpenutup volume 2 kg, sekop, cangkul, timbangan digital, terpal penjemuran, pipet plastik, *handspray*, *soil pH meter*, termometer, kantung plastik sampel, mesin pencacah (*chopper*), dan botol pengocok analisis. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian mencakup limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), feses sapi segar sebagai sumber nitrogen tambahan, dedak padi sebagai stimulan nutrisi mikroba awal, dan bioaktivator komersial Stardec.

Penelitian ini mengadopsi Rancangan Acak Lengkap (RAL) non-faktorial yang terdiri dari 4 taraf dosis perlakuan bioaktivator Stardec dengan 3 kali ulangan, sehingga membentuk 12 unit percobaan formal. Adapun rincian formulasi basis massa perlakuan dijabarkan sebagai berikut:

P0 = 0 g Stardec + 1.420 g TKKS + 500 g feses sapi + 80 g dedak

P1 = 10 g Stardec + 1.420 g TKKS + 500 g feses sapi + 80 g dedak

P2 = 20 g Stardec + 1.420 g TKKS + 500 g feses sapi + 80 g dedak

P3 = 30 g Stardec + 1.420 g TKKS + 500 g feses sapi + 80 g dedak

Pelaksanaan operasional riset dipilah ke dalam tiga tahapan. Tahap persiapan diawali dengan pengeringan material TKKS dan feses sapi guna menstabilkan kadar air, disusul pengecilan ukuran partikel TKKS menggunakan mesin *chopper* hingga ukuran homogen 2–3 cm. Tahap pembuatan dan inkubasi dilakukan dengan mencampur seluruh material secara merata berdasar berat perlakuan, diikuti penyesuaian kelembaban pada rentang 30–50% berbantuan *handspray*. Campuran difermentasikan secara semi-aerob selama 30 hari di dalam reaktor plastik yang dilengkapi sirkulasi pipa pipet udara. Pengamatan visual (warna, tekstur, aroma, suhu) dimonitor secara berkala tiap 3 hari.

Pada hari ke-30, contoh kompos seberat 200 gram dari tiap unit selanjutnya dianalisis di Laboratorium Tanah Universitas Hasanuddin (UNHAS). Parameter laboratorium mencakup persentase Karbon Organik (metode *Walkley and Black*), Nitrogen Total (metode *Kjeldahl*), kalkulasi rasio C/N, dan tingkat keasaman (pH). Seluruh basis data kuantitatif ditabulasi secara sistematis untuk dianalisis menggunakan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) berbasis software SPSS versi 26. Apabila determinasi perlakuan berstatus berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95% ($p \leq 0,05$), maka dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan (Duncan's Multiple Range Test / DMRT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi laboratorium terhadap parameter kimiawi utama pupuk kompos pasca-inkubasi 30 hari membuktikan kontribusi signifikan dari variasi dosis bioaktivator Stardec. Ringkasan signifikansi statistik dan nilai rata-rata uji lanjut Duncan disajikan secara terperinci pada Tabel 1. Data Tabel 1 menunjukkan terjadi tren unik di mana persentase C-Organik akhir justru mengalami peningkatan yang signifikan pada perlakuan dosis tinggi, yaitu P2 (17,07%) dan P3 (18,39%), dibandingkan dengan kontrol P0 (12,93%). Secara sepintas, hal ini tampak kontradiktif karena proses pengomposan idealnya menurunkan total massa karbon melalui pelepasan gas CO₂.

Tabel 1. Kualitas Kimia Akhir Kompos TKKS Berdasarkan Variasi Perlakuan Dosis Stardec

Formulasi Perlakuan	Karbon Organik (%)	Nitrogen Total (%)	Rasio C/N
P0 (Tanpa Stardec)	12,93 ^b	0,81 ^c	15,67 ^a
P1 (Stardec 10 gram)	13,96 ^b	1,08 ^b	13,67 ^a
P2 (Stardec 20 gram)	17,07 ^a	1,15 ^b	15,00 ^a
P3 (Stardec 30 gram)	18,39 ^a	1,49 ^a	12,00 ^a

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui dua mekanisme biologis yaitu : Efek Konsentrasi Akibat Penyusutan Volumetrik Kompos, dimana peningkatan dosis Stardec mempercepat degradasi komponen non-karbon serta penguapan air secara masif. Penurunan berat total matriks kompos (*dry matter loss*) ini menyebabkan terjadinya efek pemekatan (*concentration effect*), sehingga persentase C-organik yang terikat dalam struktur seluler mikroba terukur lebih tinggi per satuan massa kering.

Selain itu terjadi Asimilasi Karbon menjadi Biomassa Mikroba, sesuai dengan teori metabolisme mikroba, sepertiga bagian dari karbon yang dirombak oleh bakteri lignoselulolitik dalam Stardec diasimilasi ke dalam bentuk sel baru (biomassa mikroba). Kelimpahan populasi mikroba pada dosis P3 mengikat karbon organik ini dalam bentuk senyawa mantap yang tidak mudah menguap. Hal ini sejalan dengan temuan Henson (1999) yang menyatakan bahwa pemodelan bahan kering pada sisa tanaman kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh retensi biomassa pasca-degradasi. Kehadiran mikroba eksogen yang agresif mengubah fraksi karbon kasar menjadi materi organik tanah yang lebih stabil (*humus-like substances*).

Data Nitrogen Total juga menunjukkan adanya peningkatan linear yang sangat nyata seiring dengan penambahan dosis Stardec, dengan puncaknya pada P3 (1,49%) dan terendah pada P0 (0,81%). Peningkatan konsentrasi nitrogen yang hampir mencapai dua

kali lipat ini didorong oleh aktivitas enzim protease oleh mikroba dalam Stardec (bakteri rumen) yang kaya akan bakteri proteolitik yang mendegradasi protein kompleks dalam jaringan TKKS menjadi senyawa nitrogen terlarut (asam amino dan amonium). Adanya pelepasan karbon dalam bentuk gas CO_2 menyebabkan massa total kompos berkurang secara drastis, sehingga nitrogen yang bersifat non-volatil (terikat dalam protein seluler mikroba) mengalami peningkatan persentase secara proporsional yang menyebabkan terjadi penyusutan kompos. Aholouké et al. (2013) mengonfirmasi bahwa pengelolaan dan dekomposisi residu kelapa sawit yang melibatkan aktivitas biologis tinggi akan meningkatkan retensi unsur hara penting seperti nitrogen dan kalium dalam produk akhir karena minimalnya proses pencucian (*leaching*) dalam sistem yang terkontrol.

Dinamika Karbon (C) Organik dan Nitrogen (N) Total

Berdasarkan output sidik ragam ANOVA, aplikasi Stardec memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kuantitas Karbon Organik akhir. Berdasarkan DMRT, konsentrasi C-Organik pada perlakuan P2 (17,07%) dan P3 (18,39%) berbeda secara signifikan dibanding kontrol P0 (12,93%) dan P1 (13,96%). Pola peningkatan persentase massa karbon terikat ini berhubungan dengan intensitas metabolisme mikroorganisme lignoselulolitik yang terdapat dalam Stardec. Selama proses dekomposisi aktif berlangsung, konsorsium mikroba merombak rantai karbon kompleks menjadi fraksi energi seluler. Secara teoritis, setiap bagian senyawa organik yang dikonsumsi mikroorganisme, sebanyak 2/3 bagian dari unsur C dilepaskan ke atmosfer sebagai gas CO_2 , sedangkan 1/3 bagian sisa C akan diasimilasi bersama dengan unsur N ke dalam biomassa sel mikroba yang baru, yang kelak akan terlepas kembali saat siklus kematian sel.

Pada parameter Nitrogen Total, hasil DMRT memaparkan deviasi yang sangat nyata di mana P3 mencetak angka tertinggi sebesar 1,49%, disusul oleh P2 (1,15%), P1 (1,08%), dan terendah pada P0 (0,81%). Peningkatan konsentrasi nitrogen berbanding lurus dengan peningkatan dosis bioaktivator. Hal ini didorong oleh konsentrasi populasi mikroba pemfiksasi nitrogen serta percepatan degradasi bahan oleh enzim protease. Penyusutan massa total kompos akibat pelepasan CO_2 dan penguapan air secara matematis meningkatkan konsentrasi nitrogen total per satuan massa kering kompos.

Rasio C/N dan Fluktuasi pH Kompos

Rasio C/N merupakan indikator utama tingkat kematangan dan stabilitas biologis suatu produk kompos. Hasil analisis statistik menunjukkan perlakuan P3 (Stardec 30 gram)

menghasilkan rasio C/N terendah yaitu 12,00. Angka ini secara regulasi telah sepenuhnya memenuhi kriteria standar mutu pupuk organik nasional sesuai SNI 19-7030-2004 (regulasi mensyaratkan nilai rasio C/N berada pada rentang 10–25). Percepatan penurunan rasio C/N pada dosis tinggi (P3) merefleksikan efisiensi kinetika konversi komponen selulosa kasar TKKS oleh inokulan mikroba aktif.

Berdasarkan SNI 19-7030-2004, pupuk organik yang matang dan stabil harus memiliki rasio C/N antara 10–25. Nilai 12,00 pada P3 menunjukkan bahwa intervensi Stardec 30 gram berhasil memotong rantai lignoselulosa TKKS yang awalnya sangat kokoh. Lignin (15–25%) dan selulosa (40–50%) yang menyusun TKKS (Pahan, 2006) telah terhidrolisis optimal, sehingga kompos matang lebih cepat dan siap diaplikasikan ke tanah tanpa risiko imobilisasi nitrogen.

Monitoring berkala terhadap nilai pH menunjukkan dinamika transformatif yang disajikan pada Tabel 2. Pengukuran fase awal (Hari 1-7) mengindikasikan fase asam awal (pH 4,43 - 4,86) akibat pelepasan asam-asam organik volatil oleh bakteri asidogenik yang memproduksi asam lemak atsiri (*volatile fatty acids*). Namun, memasuki hari ke-13 hingga ke-30, terjadi lonjakan pH yang signifikan, di mana P3 mencapai kondisi netral-ideal (7,20).

Tabel 2. Perkembangan Nilai pH Kompos Selama 30 Hari Inkubasi Semiarob

Perlakuan	Hari 1	Hari 7	Hari 13	Hari 19	Hari 25	Hari 30
P0 (Tanpa Stardec)	4,43 ^a	4,63 ^b	4,90 ^c	5,33 ^b	5,73 ^d	6,43 ^c
P1 (Stardec 10 g)	4,43 ^a	4,67 ^b	5,17 ^b	5,40 ^b	5,93 ^c	6,73 ^b
P2 (Stardec 20 g)	4,44 ^a	4,96 ^a	5,40 ^b	5,93 ^a	6,63 ^b	6,93 ^b
P3 (Stardec 30 g)	4,46 ^a	4,86 ^a	5,77 ^a	6,07 ^a	6,83 ^a	7,20 ^a

Kenaikan pH menuju netralitas terdeteksi nyata mulai hari ke-7 hingga hari ke-30. Perlakuan P3 mencapai titik netral terbaik yaitu 7,20 pada akhir dekomposisi, disusul P2 (6,93) dan P1 (6,73), sedangkan P0 tertinggal pada kondisi agak asam (6,43). Peningkatan pH ini dipicu oleh mineralisasi senyawa nitrogen organik menjadi amonia (NH_3) yang bersifat basa. Tercapainya pH normal/netral mengonfirmasi hilangnya senyawa fitotoksik, sehingga aman dan efektif untuk memperbaiki sifat biologis dan kimiawi tanah. Kenaikan pH ini merupakan bukti nyata terjadinya proses ammonifikasi yaitu mineralisasi nitrogen menjadi amonia (NH_3) dan amonium (NH_4) yang bersifat basa. Netralisasi pH pada P3 ini menjadi jaminan hilangnya senyawa fitotoksik (racun tanaman) yang biasanya mencirikan kompos muda.

Analisis Kualitatif Visual (Warna, Tekstur, dan Aroma)

Hasil monitoring organoleptik visual mempertegas bahwa peningkatan dosis Stardec mempercepat tercapainya parameter fisik kompos matang secara signifikan. Transformasi perubahan fisik kompos TKKS terdokumentasi secara runut disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Transformasi Sifat Fisik Kualitatif Kompos Berbasis TKKS

Hari Ke-	Parameter	P0 (0 g)	P1 (10 g)	P2 (20 g)	P3 (30 g)
1-13	Warna	Kuning Cerah	Kuning Cerah	Kuning Cerah	Kuning Cerah
	Tekstur	Kasar Rigid	Kasar Rigid	Kasar Rigid	Kasar Rigid
	Aroma	Khas Sawit	Khas Sawit	Khas Sawit	Khas Sawit
16	Warna	Kuning Cerah	Kuning Cerah	Cokelat	Cokelat
	Tekstur	Kasar Rigid	Kasar Rigid	Kasar Rigid	Kasar Rigid
	Aroma	Khas Sawit	Khas Sawit	Berbau Tajam	Berbau Tajam
19	Warna	Cokelat	Cokelat	Cokelat	Cokelat
	Tekstur	Kasar	Kasar	Halus Rekah	Halus Rekah
	Aroma	Khas Sawit	Berbau Tajam	Berbau Tajam	Berbau Tajam
25-31	Warna	Hitam (Hari 28)	Hitam (Hari 28)	Hitam Pekat	Hitam Pekat
	Tekstur	Halus (Hari 25)	Halus (Hari 25)	Halus Gembur	Halus Gembur
	Aroma	Tidak Berbau (H31)	Tidak Berbau (H28)	Tidak Berbau	Tidak Berbau

Data kualitatif visual pada Tabel 3 mempertegas keunggulan kinetika dekomposisi pada perlakuan dosis tinggi (P2 dan P3) dibandingkan dengan kontrol. Terjadi transformasi warna dan tekstur kompos, warna menjadi cokelat pada hari ke-16 dan mencapai tekstur “halus rekah” pada hari ke-19. Sebaliknya, P0 dan P1 baru mengalami fase transisi warna pada hari ke-19 dan teksturnya tetap rigid (kaku) hingga fase akhir. Hal ini membuktikan bahwa enzim selulase dan lignolitik pada Stardec bekerja mereduksi kekuatan mekanis serat kasar TKKS jauh lebih cepat.

Selain itu, terjadi juga transformasi penyusutan aroma/bau, yaitu hilangnya bau tajam dan bau khas sawit secara total pada seluruh perlakuan di akhir inkubasi (terutama P1-P3 yang selesai lebih awal dibanding P0) menandakan bahwa fase termofilik dan mesofilik aktif telah terlampaui, dan materi organik telah mencapai kestabilan (humifikasi sempurna). Temuan ini memperkuat studi Zahari et al. (2003) mengenai pemanfaatan biomassa kelapa sawit bahwa degradasi struktur serat kasar menggunakan bantuan mikroba rumen terbukti mampu memotong waktu retensi dekomposisi secara signifikan sekaligus meningkatkan palatabilitas/ kualitas fisik produk akhir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Aplikasi bioaktivator Stardec dengan formulasi dosis optimal 30 gram (P3) memberikan pengaruh terbaik dalam mempercepat waktu pengomposan dan

meningkatkan kualitas kimia kompos TKKS, dengan kadar C-Organik tertinggi (18,39%), kadar N-Total yang kaya (1,49%), nilai rasio C/N paling ideal dan efisien (12,00) yang memenuhi SNI 19-7030-2004, serta derajat keasaman yang sangat stabil dan netral (7,20). Secara kualitatif organoleptik, penambahan 30 gram Stardec mempercepat transisi warna menjadi hitam pekat, tekstur menjadi halus gembur, dan menghilangkan bau menyengat secara signifikan sejak hari ke-16 hingga ke-25, jauh lebih cepat dibandingkan dengan kontrol alami (P0).

Guna penyempurnaan riset tata kelola limbah perkebunan kelapa sawit secara holistik di masa mendatang, disarankan untuk memperluas cakupan analisis kimiawi dengan mengukur konsentrasi makronutrien esensial sekunder lainnya seperti Fosfor dan Kalium. Pengujian efek aplikasi biologis produk kompos matang ini langsung pada tanaman kelapa sawit skala pembibitan (*pre-nursery/main-nursery*) juga sangat direkomendasikan. Penggunaan Stardec pada skala industri dapat menjadi solusi taktis untuk mengatasi problem akumulasi puluhan ribu ton limbah TKKS per tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Anif, S., A. Nuraini, & R. Astuti. 2007. Kualitas pupuk organik cair dari limbah pasar sayur dengan variasi bioaktivator. *Jurnal Sains dan Teknologi Perkebunan*, 12(2): 89-96.
- Bawode, O., M. T. S. Hariana, & Y. R. Samosir. 2015. Analisis perubahan sifat fisik dan kimia kotoran ternak sebagai pupuk organik terdegradasi mikroba. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Hasanuddin*, 3(4): 1120-1128.
- Darmosarkoro, W., & Winarna. 2007. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai pupuk organik di perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 15(2): 143-152.
- Darmosarkoro, W., & S. Rahutomo. 2007. Teknologi Pengomposan Cepat Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Semi-Aerob. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 12(3): 205-214.
- Gaspersz, V. 1991. *Metode Perancangan Percobaan untuk Ilmu-Ilmu Pertanian, Ilmu-Ilmu Teknik, dan Biologi*. Penerbit Armico, Bandung.
- Hannum, S., M. H. B. Damanik, & J. M. S. Sitorus. 2014. Karakteristik kimia limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPMKS) pada unit aplikasi lahan. *Jurnal Agroekoteknologi*, 2(3): 940-947.
- Kurniawan, A., R. S. Ningrum, & D. Wahyudi. 2021. Karakterisasi bakteri lignoselulolitik dalam mempercepat humifikasi limbah padat kelapa sawit. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 15(1): 34-45.
- Lestari, P., H. Wibowo, & S. Mulyani. 2022. Efektivitas penambahan kotoran sapi terhadap penurunan rasio C/N bahan organik berserat tinggi. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 46(2): 121-130.

- Mariyani, R., S. Setyoke, & T. Haryadi. 2020. Optimasi suhu dan kelembaban pada proses biokonversi aerobik tandan kosong sawit. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2): 156-167.
- Prasetyo, B., E. Triyana, & M. Fathoni. 2023. Peran enzim ekstraseluler konsorsium mikroba Stardec pada degradasi selulosa. *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi*, 25(1): 67-78.
- Rahman, F., & H. Sulistyono. 2022. Dinamika nitrogen total dan pelepasan amonia pada pengomposan limbah kelapa sawit. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(3): 389-397.
- Saidi, A., N. Hakim, & A. R. Ahmad. 2013. Parameter kematangan kompos organik berdasarkan kajian rasio C/N dan kapasitas tukar kation. *Jurnal Solum*, 10(1): 23-31.
- Santi, L. P., & D. H. Goenadi. 2020. Pemanfaatan bioaktivator komersial dalam pengelolaan limbah padat perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 28(2): 89-102.
- Setyorini, D., R. Saraswati, & E. Anwar. 2021. *Kompos: Spesifikasi Mutu dan Teknologi Produksi Pupuk Organik*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Simanungkalit, R. D. M., D. A. Suriadikarta, & R. D. Hastuti. 2022. Aplikasi pupuk hayati dan organik pada tanaman perkebunan di Indonesia. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*, 16(4): 177-185.
- Siregar, M. A., & R. A. Ginting. 2023. Kinetika degradasi lignin pada tandan kosong kelapa sawit menggunakan inokulan kapang pelapuk putih. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(2): 102-111.
- Sri Sugiyani, dkk. atau Kurnia, U., dkk. (2001). *Teknologi Pengomposan Bahan Organik Menggunakan Bioaktivator Stardec*. Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian.
- Susilawati, & Ichwan. 2007. Rekayasa bioproses limbah lignoselulosa perkebunan menjadi pupuk organik bermutu tinggi. *Jurnal Akta Agrosia*, 10(1): 45-52.
- Wahyudi, E., A. R. Siregar, & T. Sitompul. 2024. Evaluasi kematangan fisik dan kimiawi pupuk organik padat komersial berbasis limbah feses ternak. *Jurnal Tropika Perkebunan*, 14(1): 45-56.
- Widarti, B. N., W. K. Wardani, & E. Sarwono. 2015. Pengaruh rasio C/N bahan baku terhadap produksi gas bio dan efisiensi pengomposan sampah organik. *Jurnal Teknologi*, 7(2): 113-120.
- Yuniarti, A., E. Solihin, & A. T. Putri. 2022. Aplikasi berbagai jenis pupuk organik terhadap sifat kimia tanah dan hasil tanaman kelapa sawit. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 11(3): 312-324.
- Wan Zahari, M; Abu Hassan, O; Wong, H K and Liang, J B (2003). *Utilization of oil palm frond based diets for beef and dairy production in Malaysia*. Asian-Australasian J. Anim. Sci., 16(4): 625-634.