

BIODELIGNIFIKASI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN APLIKASINYA SEBAGAI PUPUK ORGANIK

Firda Dimawarnita*, Silva Latisya, Urip Perwitasari¹ dan Yora Faramitha

Abstrak - Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah biomassa yang jumlahnya melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal. TKKS berpotensi dimanfaatkan kembali melalui proses pengomposan menjadi pupuk organik. Akan tetapi, kandungan lignin yang tinggi dalam TKKS menyebabkan proses pengomposan berlangsung lama, sehingga diperlukan upaya untuk menurunkan kadar lignin melalui proses biodelignifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses biodelignifikasi TKKS melalui pemanfaatannya sebagai media pertumbuhan jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) dan mengevaluasi efektivitas sisa baglog hasil budidaya tersebut sebagai pupuk organik. TKKS diformulasikan dalam berbagai komposisi dan digunakan sebagai bahan baglog jamur. Sisa baglog yang telah terdekomposisi selanjutnya diuji kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa, dan rasio C/N, kemudian diaplikasikan ke tanaman cabai dan terong. Hasil menunjukkan adanya penurunan kadar lignin dan C/N rasio yang mengindikasikan terjadinya proses biodelignifikasi dan pengomposan. Aplikasi pupuk organik dari sisa baglog pada tanaman cabai dan terong menunjukkan pertumbuhan yang baik, terutama pada perlakuan dengan kandungan TKKS 75–100%. Hasil ini menunjukkan bahwa sisa baglog TKKS berpotensi besar sebagai pupuk organik yang efektif dan ramah lingkungan.

Kata kunci: baglog jamur, biodelignifikasi, kompos, pupuk organik, tandan kosong kelapa sawit

PENDAHULUAN

Pada tahun 2023, Indonesia memproduksi 46,9 juta ton minyak kelapa sawit (Badan Pusat Statistik, 2024). Salah satu tantangan utama dalam industri ini adalah pengelolaan limbah padat, terutama tandan kosong kelapa sawit (TKKS), yang jumlahnya sangat melimpah. TKKS merupakan limbah padat yang dihasilkan setelah proses ekstraksi minyak dari buah kelapa sawit, dengan jumlah mencapai sekitar 230 kg untuk setiap ton minyak kelapa sawit yang dihasilkan. Pengelolaan TKKS seringkali menjadi tantangan tersendiri karena volumenya yang besar dan nilai ekonomisnya yang rendah jika tidak dikelola dengan baik. TKKS ini umumnya hanya dibakar atau dibiarkan membusuk, yang dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti emisi gas rumah kaca dan pencemaran tanah dan air (Nabila et al., 2023).

Produksi TKKS di Indonesia setiap tahunnya sekitar 9,5 juta ton tandan kosong kelapa sawit (hasil perhitungan dari data Deptan 2002) dan jumlah ini akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan luas areal perkebunan kelapa sawit (Sentana et al., 2010).

Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah pabrik kelapa sawit (PKS) yang belum dimanfaatkan secara optimal. Selama ini TKKS hanya dimanfaatkan sebagai mulsa dan bahan bakar boiler (Harahap et al., 2021; Naiborhu et al., 2024; Zaman et al., 2024). Tandan kosong kelapa sawit berpotensi dimanfaatkan kembali melalui proses pengomposan menjadi pupuk organik, yang dapat meningkatkan kandungan hara tanah (Iswahyudi & Iskandar, 2023; Pramana et al., 2021), menekan biaya serta meningkatkan efisiensi pemupukan serta memperbaiki kapasitas tukar kation, pH tanah, dan ketersediaan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan magnesium (Mg) (Mansyur et al., 2021).

Tandan kosong kelapa sawit sebenarnya dapat terurai secara alami, namun proses pengomposannya memerlukan waktu yang lama karena tingginya kandungan lignin. Lignin membentuk ikatan kuat dengan hemiselulosa dan selulosa, menciptakan

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Firda Dimawarnita* (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor
Jl. Taman Kencana No.1 Bogor 16128, Jawa Barat, Indonesia
Email: firda_dimawarnita@gmail.com

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jalan Raya Jakarta-Bogor no 32, Bogor 16915, Jawa Barat, Indonesia

penghalang fisik yang menyulitkan enzim selulolitik dalam mendegradasi lignoselulosa (Howard et al., 2013). Akibatnya, sering terjadi akumulasi bahan organik. Menurut (Nurrohmanysah et al., 2019), semakin lama proses pengomposan berlangsung, semakin luas lahan yang dibutuhkan dan semakin tinggi pula biaya yang dikeluarkan. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menurunkan kadar lignin dalam TKKS guna mempercepat proses dekomposisi.

Kandungan TKKS yang masih mengandung lignin dan selulosa dapat dimanfaatkan sebagai media pertumbuhan jamur tiram putih. Enzim lignoselulolitik yang dihasilkan oleh jamur tiram dapat mendukung biodegradasi lignin yang terkandung pada TKKS (Dimawarnita & Tri-Panji, 2019). Lignin merupakan polimer yang terdiri atas unit fenilpropana yang memiliki struktur yang kompleks dan kaku. Secara alamiah lignin sukar didekomposisi dan hanya sedikit mikroorganisme yang mampu mendegradasinya. Penghilangan lignin atau delignifikasi pada TKKS umumnya diterapkan dalam pembuatan bioetanol, kertas, hingga bioplastik. Pemanfaatan TKKS terdelignifikasi masih jarang dilakukan dalam pembuatan pupuk atau pengomposan. Padahal, delignifikasi ini diharapkan dapat mempersingkat waktu pengomposan sehingga lebih efektif dan efisien (Dimawarnita & Tri-Panji, 2019).

Jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) merupakan jenis jamur kayu yang memiliki nutrisi lebih tinggi di bandingkan dengan jenis jamur lain (Widyastuti & Tjokrokusumo, 2021). Jamur tiram putih sangat cocok dikembangkan dan dibudidayakan karena permintaan pasar yang tinggi namun produksi jamur tiram sampai saat ini belum memadai. Budidaya yang mudah, murah, tidak memerlukan lahan yang luas menjadikan budidaya jamur ini sebagai salah satu peluang usaha cukup menjanjikan. Jamur tiram termasuk golongan *basidiomycetes* penghasil enzim lignoselulolitik dan ekstraseluler seperti Lignin Peroksidase (Li-P), Mangan Peroksidase (Mn-P) dan Lakase (Siripong et al., 2009). Secara biologis jamur tiram mampu memecah lignin pada TKKS dan menjadikannya sumber makanan. Jamur tiram menggunakan lignin sebagai sumber karbon. Penelitian Dimawarnita & Perwitasari (2017) menunjukkan bahwa pemanfaatan TKKS sebagai media tanam jamur tiram putih dapat menghasilkan enzim lignolitik (lakase, mangan peroksidase, lignin peroksidase) bernilai jual tinggi yang terbentuk selama masa pertumbuhan

jamur. Enzim-enzim tersebut bersifat ekstraseluler dan dilepaskan oleh miselium jamur ke dalam baglog selama proses pertumbuhan, sehingga memungkinkan ekstraksi enzim langsung dari baglog yang mengandung TKKS. Selain jamur dapat dijual sebagai pangan, sisa baglog TKKS juga berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk organik, sehingga mendukung ekonomi petani sekaligus menjadi solusi pengolahan limbah.

Sisa baglog (media tumbuh) jamur tiram yang berasal dari TKKS masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos. Pengomposan sisa baglog ini diperkirakan dapat berlangsung lebih cepat karena kandungan lignin dalam TKKS telah terdegradasi selama proses pertumbuhan jamur tiram melalui aktivitas enzim lignolitik. Sisa baglog diperkirakan memiliki C/N rasio sekitar 30,73 % (Sangsuwan et al., 2023), memerlukan sedikit proses dan waktu untuk menjadi kompos yang matang dengan kriteria C/N rasio sekitar 20. Tahapan ini akan membutuhkan waktu yang jauh lebih pendek dibandingkan pengomposan dari TKKS segar dengan C/N rasio sekitar 56,45% yang membutuhkan waktu lebih dari tujuh minggu (Susanto & Susilo, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui proses biodelignifikasi TKKS yang terjadi selama pemanfaatannya sebagai media tanam jamur tiram. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi kualitas pupuk organik yang dihasilkan dari pengomposan sisa baglog serta potensi aplikasinya sebagai pupuk organik.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa baglog jamur tiram yang diformulasikan dengan berbagai variasi komposisi kandungan tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serta bahan lain yang digunakan adalah pupuk anorganik N, P, dan K. Variasi komposisi baglog didasarkan pada persentase kandungan TKKS yang digunakan dalam media tanam jamur. Setelah proses budidaya jamur selesai, sisa baglog yang telah mengalami sebagian proses dekomposisi digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pupuk organik. Untuk aplikasi lapangan, tanaman cabai dan terong dipilih sebagai indikator pertumbuhan untuk menguji efektivitas pupuk organik yang dihasilkan dari pupuk organik hasil pengomposan sisa baglog tersebut.

Metode penelitian diawali dengan proses budidaya jamur tiram putih pada baglog yang mengandung variasi komposisi TKKS. Setelah lima bulan, sisa baglog diuji kandungannya, meliputi kadar lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Karena telah digunakan dalam budidaya jamur, sisa baglog dianggap telah mengalami proses biodelignifikasi dan sebagian pengomposan alami. Untuk mengetahui proses biodelignifikasi dan menilai kualitas sebagai pupuk organik, dilakukan pengujian kadar lignin dan rasio C/N dari masing-masing komposisi. Selanjutnya, pupuk organik hasil pengomposan sisa baglog diaplikasikan ke tanaman cabai dan terong dengan lima variasi komposisi (% TKKS) yaitu perlakuan 1 (25% TKKS), perlakuan 2 (50% TKKS), perlakuan 3 (75% TKKS), perlakuan 4 (100% TKKS), perlakuan 5 (0%TKKS), serta dua kontrol: kontrol positif (+) berupa media tanam yang ditambahkan pupuk N, P, dan K, serta kontrol negatif (-) berupa media tanam tanpa tambahan pupuk. Pertumbuhan tanaman diamati

melalui parameter tinggi tanaman dan jumlah daun, kemudian dianalisis secara statistik menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengomposan Sisa Baglog Jamur

Hasil pengujian menunjukkan adanya perubahan kadar lignin, selulosa, dan hemiselulosa pada semua perlakuan (P1–P5) dari bulan pertama (Tabel 1) ke bulan kelima (Tabel 2). Terjadi penurunan kandungan lignin pada seluruh perlakuan. Penurunan ini mengindikasikan bahwa selama lima bulan proses berlangsung, telah terjadi biodegradasi lignin secara signifikan. Hal ini dapat dikaitkan dengan aktivitas enzim ligninolitik yang dihasilkan oleh jamur tiram, seperti lignin peroksidase, mangan peroksidase, dan lakase, yang mampu memecah struktur kompleks lignin menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Tabel 1. Pengujian sisa baglog bulan pertama

Parameter	Sisa Baglog						
	Satuan	P1	P2	P3	P4	P5	TKKS
Lignin	%	26,11	24,82	26,01	26,96	25,84	26,49
Hemiselulosa	%	16,54	16,11	19,18	22,59	17,01	27,7
Selulosa alfa (bahan baku)	%	39,37	36,08	32,76	32,43	40,61	32,57

Keterangan:

P1 = Perlakuan 1 (25% TKKS)

P2 = Perlakuan 2 (50% TKKS)

P3 = Perlakuan 3 (75% TKKS)

P4 = Perlakuan 4 (100% TKKS)

P5 = Perlakuan 5 (0% TKKS)

Sementara itu, kandungan selulosa dan hemiselulosa pada beberapa perlakuan mengalami penurunan, namun tidak setajam penurunan lignin. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses pertumbuhan jamur, terjadi degradasi lignoselulosa, namun ligninlah yang mengalami penurunan paling signifikan. Terjadi sedikit peningkatan kadar selulosa dan hemiselulosa setelah lima bulan pada

beberapa sampel. Hal ini dapat disebabkan oleh variabilitas distribusi substrat atau pengaruh iklim mikro selama penyimpanan, yang mungkin menyebabkan pelapukan parsial tanpa degradasi yang cukup oleh enzim. Kemungkinan lain adalah adanya perubahan konsentrasi relatif akibat penurunan komponen lain, bukan karena peningkatan absolut kandungan tersebut.

Tabel 2. Pengujian sisa baglog bulan kelima

No	Parameter	Sisa Baglog					
		Satuan	P1	P2	P3	P4	P5
1	Lignin	%	20,00	17,06	15,86	32,46	17,86
2	Hemiselulosa	%	17,99	14,63	17,13	13,97	14,14
3	Selulosa alfa (bahan baku)	%	35,00	35,18	36,07	40,74	22,58

Keterangan:

P1 = Perlakuan 1 (25% TKKS)

P2 = Perlakuan 2 (50% TKKS)

P3 = Perlakuan 3 (75% TKKS)

P4 = Perlakuan 4 (100% TKKS)

P5 = Perlakuan 5 (0% TKKS)

Secara tidak langsung sudah terjadi pengomposan pada sisa baglog saat proses budidaya jamur. Proses penumbuhan jamur pada TKKS menyebabkan kadar lignin yang terkandung dalam TKKS semakin lama semakin berkurang begitu juga C/N rasionya. Pengurangan kadar C/N rasio dari bulan ke 1 menuju bulan ke 5 sebesar 4,25%-26,35%. Penurunan C/N rasio terbesar ada pada P4 yaitu 26,35% hal ini sesuai

dengan komposisi TKKS tertinggi memiliki kadar penurunan C/N rasio yang tinggi juga namun tidak berlaku untuk penurunan kadar lignin. Penurunan kadar lignin tertinggi ada pada P3 (75% TKKS) hal ini disebabkan kandungan lignin yang banyak akan digunakan jamur tiram sebagai sumber makanan untuk tumbuh dan berkembang sehingga penurunan kadar ligninnya juga tinggi (Tabel 3).

Tabel 3. Penurunan C/N rasio dan kadar lignin sisa baglog

Variasi Baglog	Penurunan C/N Rasio (%)	Penurunan kadar lignin (%)
P1	4,25	13,25
P2	16,22	18,53
P3	19,89	24,24
P4	26,35	-
P5	-	18,26

Nilai C/N rasio digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat kematangan dan kualitas suatu pupuk organik. Nilai C/N rasio yang tinggi menunjukkan bahwa bahan organik tersebut masih membutuhkan waktu dekomposisi yang lebih lama.

Menurut standar SNI 19-7030-2004 mengenai kompos organik, C/N rasio ideal berada dalam kisaran 10 hingga 20 (BSN, 2004). Tingginya kandungan karbon organik (C-organik) akan berdampak pada meningkatnya rasio C/N. Kenaikan rasio C/N

dipengaruhi oleh kadar karbon organik dalam bahan kompos, yang pada akhirnya akan menentukan kecepatan proses penguraiannya. Jika nilai rasio C/N terlalu tinggi, bahan tersebut masih memerlukan waktu penguraian lebih lanjut hingga mencapai kondisi matang (Pramana et al., 2021).

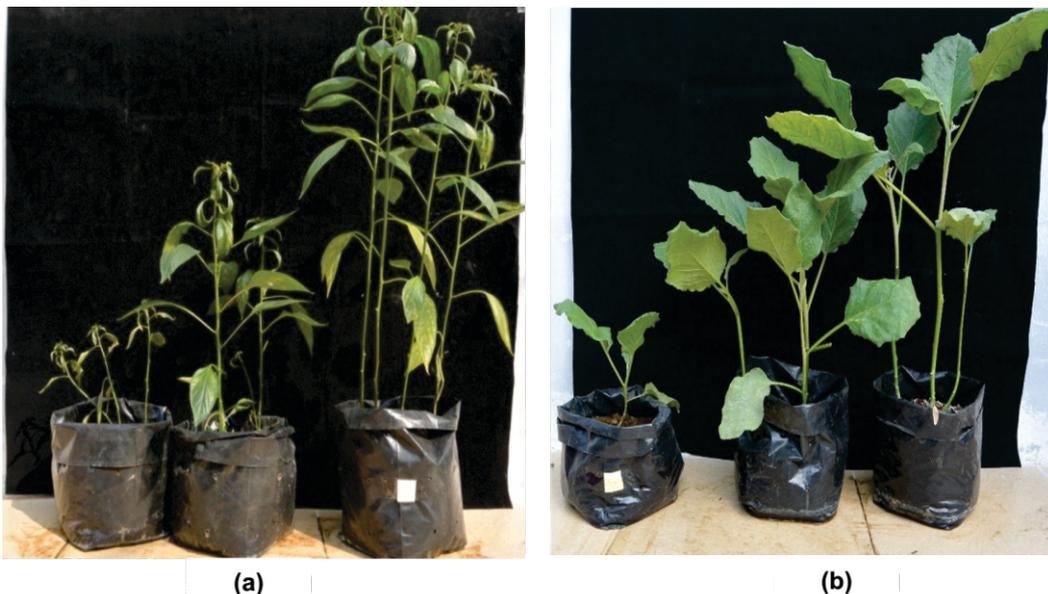
Penurunan C/N rasio pada seluruh sampel perlakuan menandakan bahwa proses dekomposisi bahan organik berjalan dengan baik, karena nitrogen relatif meningkat akibat aktivitas enzimatik jamur tiram, sementara karbon total mengalami penurunan. Nilai C/N rasio yang lebih rendah memperlihatkan bahwa sisa baglog sudah mengalami pelapukan mendekati kondisi matang sebagai pupuk organik. Hasil ini mendukung bahwa sisa baglog TKKS hasil budidaya jamur tiram berpotensi besar digunakan sebagai pupuk organik karena telah mengalami proses biodelignifikasi dan pengomposan secara alami.

Aplikasi Pupuk Organik

Setelah melalui proses budidaya jamur tiram putih pada media berbasis tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sisa baglog yang dihasilkan masih mengandung bahan organik bernilai yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk. Sebagaimana

telah dibahas sebelumnya, kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa pada sisa baglog mengalami perubahan akibat aktivitas enzimatik jamur, yang mengindikasikan terjadinya proses biodelignifikasi dan sebagian dekomposisi bahan organik. Tahapan ini menjadi dasar dalam proses pengomposan alami, sehingga sisa baglog berpotensi besar dikembangkan sebagai pupuk organik.

Hasil pengomposan sisa baglog tersebut kemudian dimanfaatkan sebagai pupuk organik dan diaplikasikan pada tanaman cabai dan terong untuk menguji efektivitasnya (Gambar 1). Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman dan jumlah daun sebagai representasi pertumbuhan vegetatif. Aplikasi pupuk organik tidak hanya sebagai sumber hara makro dan mikro, tetapi juga berfungsi memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Kandungan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam pupuk organik mendukung pembentukan jaringan tanaman, mempercepat pertumbuhan akar, serta mendorong perkembangan daun dan batang (Iswahyudi & Iskandar, 2023). Selain itu, bahan organik juga meningkatkan kapasitas tukar kation, porositas tanah, dan aktivitas mikroba, yang secara keseluruhan memperbaiki lingkungan tumbuh tanaman dan mendukung pertumbuhan yang optimal.

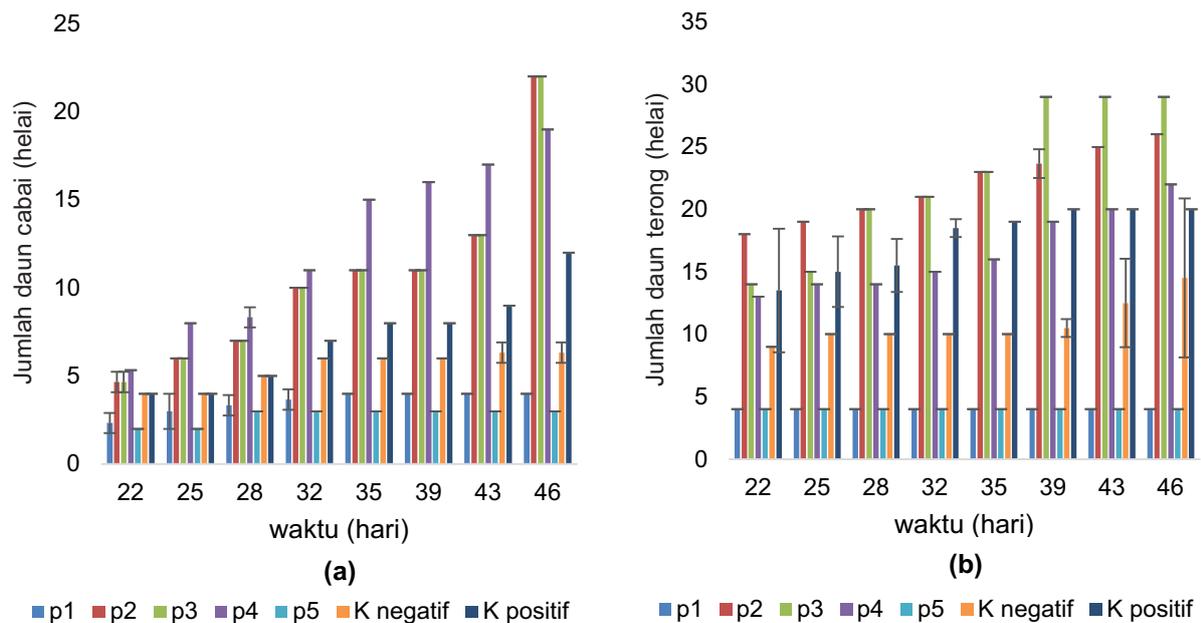


Gambar . (a) Tanaman cabai kontrol negatif, kontrol positif, dan perlakuan P3 (b) tanaman terong kontrol negatif, kontrol positif, dan perlakuan P3 (dari kiri ke kanan)

Pemberian pupuk organik dari sisa baglog menunjukkan pengaruh terhadap pertumbuhan tinggi tanaman cabai dan terong. Berdasarkan perhitungan statistik yang dapat dilihat Gambar 2a menunjukkan bahwa komposisi baglog yang baik untuk pertumbuhan cabai adalah baglog dengan kandungan TKKS terbanyak, yaitu P4 (100 % TKKS), kemudian disusul P3 dengan (75% TKKS). Hal ini disebabkan kandungan unsur hara yang dibutuhkan tanaman tercukupi dari TKKS yang merupakan bahan organik. Tinggi tanaman cabai dengan pemberian pupuk organik P4 bahkan melebihi kontrol positif yang menggunakan pupuk kimia NPK. Hal ini menunjukkan bahwa pengomposan sisa baglog memberikan unsur hara yang cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman, khususnya nitrogen dan kalium yang sangat

penting pada fase vegetatif tanaman. Hau et al., (2020) dan Lew et al., (2020) melaporkan bahwa pupuk organik dari limbah lignoselulosa dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman.

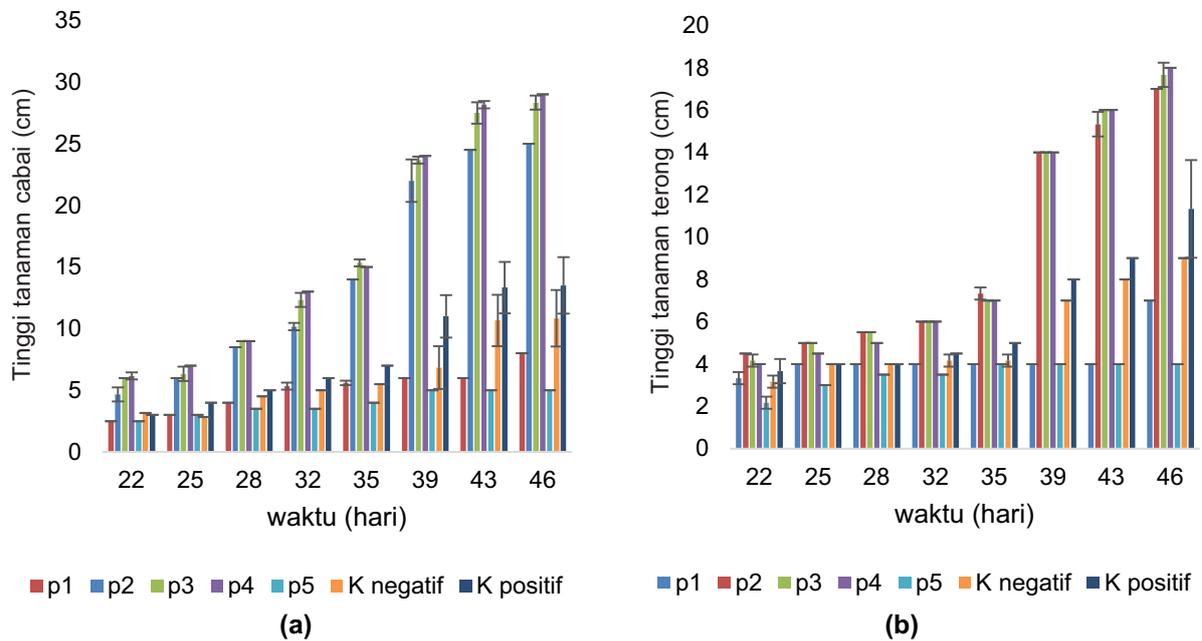
Pertumbuhan tinggi tanaman terong menunjukkan pola serupa dengan tanaman cabai. Pemberian pupuk organik P4 dan P3 berturut-turut memberikan hasil pertumbuhan tinggi tanaman terbaik (Gambar 2b). Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandungan unsur hara pada sisa baglog yang terdelignifikasi optimal mampu menyediakan kebutuhan nutrisi untuk pertumbuhan batang tanaman. Perlakuan P1 dan P2 memiliki hasil yang lebih rendah, dapat disebabkan karena masih tingginya rasio C/N atau masih adanya lignin tersisa sehingga menghambat penyerapan nutrisi.



Gambar 2. Pengaruh penggunaan pupuk organik terhadap jumlah daun tanaman (a) cabai dan (b) terong

Jumlah daun tanaman cabai merupakan salah satu indikator pertumbuhan vegetatif yang baik. Berdasarkan grafik pada Gambar 3a menunjukkan bahwa jumlah daun pada perlakuan P4 lebih tinggi dibanding perlakuan lain, melebihi kontrol positif. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan hara makro

dalam pupuk organik, khususnya nitrogen, telah mencukupi untuk mendukung pembentukan daun. Penelitian Raksun et al., (2020) juga menyebut bahwa aplikasi kompos yang berasal dari lignoselulosa dapat meningkatkan jumlah daun tanaman hortikultura.



Gambar 3. Pengaruh penggunaan pupuk organik terhadap tinggi tanaman (a) cabai dan (b) terong

Pemberikan pupuk organik dengan perlakuan P3 dan P4 juga memberikan hasil jumlah daun yang lebih banyak pada tanaman terong (Gambar 3b). Hasil ini menunjukkan konsistensi bahwa kombinasi optimal TKKS dalam pupuk organik hasil pengomposan baglog jamur mendukung pertumbuhan vegetatif. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh ketersediaan nutrisi yang seimbang serta struktur fisik media tanam yang mendukung aerasi dan retensi air. Penurunan hasil pada P1 dan P2 bisa dikaitkan dengan kandungan lignin yang belum sepenuhnya terdegradasi.

KESIMPULAN

Proses biodelignifikasi TKKS melalui pemanfaatannya sebagai media tanam jamur tiram putih mampu menurunkan kandungan lignin secara signifikan, serta menurunkan rasio C/N sisa baglog hingga mendekati standar kematangan kompos. Aplikasi pupuk organik dari sisa baglog tersebut pada tanaman cabai dan terong memberikan hasil pertumbuhan yang positif, terutama pada perlakuan dengan kandungan TKKS 75–100%, yang mampu meningkatkan tinggi tanaman dan jumlah daun secara signifikan, bahkan melebihi kontrol positif

yang diberi pupuk kimia. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa sisa baglog hasil budidaya jamur tiram dapat menjadi alternatif pupuk organik yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik. Implikasinya, pemanfaatan limbah biomassa sawit menjadi pupuk organik melalui pendekatan biodelignifikasi tidak hanya mendukung pertanian berkelanjutan, tetapi juga membuka peluang ekonomi sirkular di sektor perkebunan dan pertanian.

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menguji efektivitas aplikasi pupuk organik hasil pengomposan sisa baglog TKKS pada tanaman kelapa sawit, sebagai bagian dari strategi pengembalian bahan organik ke dalam sistem agroekosistem perkebunan. Pendekatan ini sejalan dengan tujuan net zero emission di sektor perkebunan, dengan cara menutup siklus karbon melalui pemanfaatan kembali limbah organik pada lokasi produksi. Dengan demikian, pengembalian bahan organik dari TKKS ke kebun kelapa sawit tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah dan efisiensi pemupukan, tetapi juga memperkuat kontribusi industri sawit terhadap pengelolaan lingkungan yang lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2024). *Production of Indonesian Plantation Crops 2023*.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. (2004). *SNI 19-7030-2004 Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik Badan Standardisasi Nasional*.
- Dimawarnita, F., & Perwitasari, U. (2017). Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Produksi Jamur Tiram (*Pleurotus sp.*) dan Enzim Ligninase. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 1(2), 100–108. www.jmi.mikoina.or.id
- Dimawarnita, F., & Tri-Panji. (2019). Aktivitas enzim ligninolitik *Pleurotus ostreatus* pada media yang mengandung TKKS dan aplikasinya untuk dekolonisasi zat warna. *Menara Perkebunan*, 87(1), 31–40. <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v1i87.328>
- Harahap, A. F., Hidayat, M., & Suhanan. (2021). Utilization of Oil Palm Empty Fruit Bunches as Mulch in Community Owned Oil Palm Plantations (Case Study in Simardona Village, North Sumatra). In *ASEAN Journal of System Engineering* (Vol. 5, Issue 2). <http://journal.ugm.ac.id/index.php/ajse>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00993-8>
- Howard, J. R., Amidon, T. E., Liu, S., & Wood, C. D. (2013). *United States Patent* (Patent US00861828OB2).
- Iswahyudi, H., & Iskandar, M. D. (2023). Kandungan Unsur Hara Makro pada Kompos Fiber dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *EnviroScienteeae*, 19(1), 9.
- Lew, J. H., May, A. K. A., Shamsuddin, M. R., Aqsha, Lazim, A. M., & Narasimba, M. M. (2020). Vermicomposting of palm oil empty fruit bunch (EFB) based fertilizer with various organics additives. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 736(5). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/5/052014>
- Mansyur, N. I., Pudjiwati, E. H., & Murtillaksono, A. (2021). *Pupuk dan Pemupukan*. Syiah Kuala University Press. <https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=eiwYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=komp os+tkks+efisiensi+pemupukan&ots=TDrb7s7et s&sig=>
- Nabila, R., Hidayat, W., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Lee, S., Kim, S., Kim, S., Chun, D., Choi, H., Im, H., Lim, J., Kim, K., Jun, D., Moon, J., & Yoo, J. (2023). Oil palm biomass in Indonesia: Thermochemical upgrading and its utilization. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 176). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113193>
- Naiborhu, W. A., Putra, M. D., Siahaan, A. S. B., Lumban Tobing, M. D. M., & Aryza, S. (2024). *A Utilization Of Oil Palm Empty Fruit Bunch Biomass As An Alternative Fuel For Steam Power Plants*. 13. <https://doi.org/10.58471/infokum.v13i01>
- Nurrohmanysah, R., Indriyani, A., Ekaliana, E., & Telaumbanua, M. (2019). Alat Pembuat Pupuk Cair Otomatis dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Berbasis Mikrokontroler. *Agroteknika*, 2(2), 51–58. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v2i2.43>
- Pramana, A., Hamzah, A., Haitami, A., & Okalia, D. (2021). Quality Analysis of “Kosmos” TKKS Compose using Selulolitic Microorganism. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 15(3), 839–844. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i3.10149>
- Raksun, A., Zulkifli, L., & Mahrus, M. (2020). Pengaruh Dosis Dan Waktu Pemberian Kompos Terhadap Pertumbuhan Kangkung Darat. *Jurnal Pijar Mipa*, 15(2), 171–176. <https://doi.org/10.29303/jpm.v15i2.1516>
- Sangsuwan, P., Detraksa, J., & Srimawong, P. (2023). Proximate Analysis of The Growth of Organic Grey Oyster Mushrooms on Biochar from Agricultural Waste. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 35(1), 83–91.

- <https://doi.org/10.33866/phytopathol.035.01.0852>
- Sentana, S., Subroto, M. A., Sudyana, dan, Balai Pengembangan Proses dan Teknologi Kimia LIPI, U., Pengkajian Teknologi BPPT Puspiptek Serpong, B., Bioteknologi LIPI Cibinong, P., & Fisika LIPI Puspiptek Serpong, P. (2010). Pengembangan dan Pengujian Inokulum Untuk Pengomposan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. In *Jurnal Rekayasa Proses* (Vol. 4, Issue 2).
- Siripong, P., Oraphin, B., Sanro, T., & Duanporn, P. (2009). Screening of Fungi from Natural Sources in Thailand for Degradation of Polychlorinated Hydrocarbons. *J. Agric. & Environ. Sci*, 5(4), 466–472.
- Susanto, T., & Susilo, A. (2018). *Pengaruh Kombinasi Bahan Penyusun Terhadap Penurunan Rasio C/N Dalam Komposting Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)*. <https://core.ac.uk/reader/198237840>
- Widyastuti, N., & Tjokrokusumo, D. (2021). Manfaat Jamur Konsumsi (Edible Mushroom) dilihat dari Kandungan Nutrisi serta Pperannya dalam Kesehatan. *Hasil Penelitian Diterima*, 3(2), 92–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.36441/jtepake.s.v3i2.562>
- Zaman, N. Z. I. S., Abbas, A. R., Zainal, M. F., Quek, A., Ata, W. N. S. W., Mohd Yapandi, M. F. K., & Ibrahim, Z. F. (2024). Assessing the Environmental Impact of Empty Fruit Bunches for Electricity Generation in Malaysia: A Life Cycle Perspective. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1372(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1372/1/012057>

