

**PERBANDINGAN EFEKTIVITAS KOMPOS LIMBAH PULP DENGAN TIGA
DEKOMPOSER BERBEDA TERHADAP PERTUMBUHAN BIBIT GERONGGANG
(*Cratoxylon arborescens*)**

(Comparison of pulp sludge compost effectivity of three different decomposers to the growth of geronggang (*Cratoxylon arborescens*) seedlings)

Siti Wahyuningsih* , Agus Winarsih, Lolia Santi

Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Serat Tanaman Hutan
Jl. Raya Bangkinang-Kuok, Km.9, Bangkinang, Po Box 4/BKN, Riau, 28401, Indonesia

Article Info

ABSTRAK

Article History:

Received 11 September 2020; Accepted 22 June 2021; Published online 25 August 2021

Kata Kunci:

Limbah pulp, kompos, dekomposer, geronggang

Keywords:

Pulp sludge, compost, decomposers, geronggang

How to cite this article:

Wahyuningsih, S., Winarsih, A., & Santi, L. (2021). Comparison of pulp sludge compost effectivity of three different decomposers to the growth of geronggang (*Cratoxylon arborescens*) seedlings. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 10(2), 131-143.

<http://dx.doi.org/10.18330/jwallacea.2021.vol10i2ss2pp131-143>

Limbah pulp dari pengolahan limbah cair dapat dimanfaatkan sebagai bahan kompos, namun memiliki nisbah C/N tinggi sehingga perlu pengomposan untuk menurunkan nisbah C/N-nya. Studi ini bertujuan untuk menguji efektivitas kompos limbah pulp yang diperkaya dengan tiga jamur pengurai berbeda terhadap pertumbuhan bibit geronggang (*Cratoxylum arborescens*) di tanah gambut. Pengomposan limbah pulp dilakukan selama sebulan dengan menggunakan 3 jenis pengurai, yaitu *Phanerochaete chrysosporium* (C), *Penicillium citrinum* dan *Penicillium oxalicum* (CO), dan *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CCO). Kompos ditimbang dan diaplikasikan pada pangkal akar tanaman dengan dosis setara 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 dan 16 ton ha⁻¹. Pengamatan tinggi dan diameter bibit dilakukan selama enam bulan. Data dianalisis menggunakan ANOVA diikuti dengan DMRT pada signifikansi 5%. Kompos limbah pulp yang digunakan dalam penelitian ini memiliki CN ratio, N total (%), P₂O₅ (%) dan K₂O (%) berturut-turut 40,2-44,5; 1,04-1,11; 1,05-1,13; 1,05-1,13. Secara statistik, pertumbuhan tinggi bibit geronggang yang diaplikasi kompos dengan dekomposer CO berbeda nyata dengan CCO. Namun, pertumbuhan tinggi tidak berbeda nyata pada perlakuan variasi dosis kompos. Pertambahan diameter bibit pada perlakuan CO dengan dosis setara 6 dan 12 ton ha⁻¹ berbeda nyata terhadap perlakuan CCO pada dosis setara 12 ton ha⁻¹. Namun, pertambahan diameter bibit tidak berbeda nyata pada variasi jenis dekomposer. Kajian ke depan untuk mendapatkan kompos limbah pulp sesuai SNI dapat dilakukan.

ABSTRACT

Pulp residue from liquid waste processing is suitable for compost materials, except for its high CN ratio so it needs composting to reduce the CN ratio. Geronggang is a native peat swamp species suitable for peat rehabilitation. The study aims to test pulp sludge compost quality enriched with three different decomposers to the growth of geronggang (*Cratoxylum arborescens*) seedlings. The sludge composting was incubated for a month using three species of decomposers, i.e., *Phanerochaete chrysosporium* (C); *Penicillium citrinum* and *Penicillium oxalicum* (CO); *P. chrysosporium*, *P. citrinum* and *P. oxalicum* (CCO). The compost is weighed and placed around the seedling's roots area with varies dosages equal to 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, and 16 ton ha⁻¹. The height and diameter of the seedlings were recorded for six months. Data was examined using ANOVA followed with DMRT at a 5% significance. The sludge compost in this study has CN ratio, Total N (%), P₂O₅ (%) and K₂O (%) about 40.22-44.5; 1.04-1.11; 1.05-1.13; 1.05-1.13, respectively. Statistically, the height increment of seedlings after the sludge compost application enriched with the CO was different from the CCO. However, the seedling's height rise was not statistically different at the dosages variation treatment. The raise of seedlings diameter after CO treatment at a dosage equal to 6 and 12 ton ha⁻¹ was significantly different to the CCO at a dosage equal to 12 ton ha⁻¹. However, the rise of seedling's diameter was not significantly different at decomposers' variation treatment. The future study can be aimed to gain compost that meets the national standard.

Read online



Scan this QR code with your Smart phone

or mobile device to read online.

* Corresponding author. Tel: +62 812-1510-4281

E-mail address sitiwahyuningsih02@gmail.com (S. Wahyuningsih)

I. PENDAHULUAN

Penanaman lahan secara intensif, seperti Hutan Tanaman Industri (HTI) akan berakibat pada penurunan kesuburan tanah. Sementara itu, input hara yang tinggi pada kegiatan HTI akan berakibat pada peningkatan biaya produksi. Di sisi lain, industri pulp menghasilkan limbah yang mengandung bahan organik dan mineral seperti; kulit kayu, abu, dan lumpur dari pengolahan limbah cair (CEPI, 2004). Di antara berbagai residu tersebut, lumpur dari pengolahan limbah cair masih dikategorikan sebagai limbah B3, namun telah banyak dimanfaatkan sebagai kompos, pembenah tanah dan absorben di lingkungan industri pulp dan kertas (Aldila, 2016). Aplikasi limbah pulp secara langsung pada tanaman belum menjamin peningkatan ketersediaan hara bagi tanaman, terutama akibat dari nisbah C/N yang tinggi dan kemungkinan kandungan logam berat dalam limbah tersebut. Oleh karenanya, penguraian bahan organik dalam limbah pulp melalui proses pengomposan perlu dilakukan. Pemanfaatan limbah tersebut sebagai kompos akan mengurangi volume limbah di tempat pembuangan, meningkatkan kesuburan tanah dan secara tidak langsung mengurangi biaya produksi tanaman penghasil pulp.

Dalam proses penguraian bahan organik, keberadaan mikroba perombak bahan organik dapat memperpendek lama pengomposan. Bani *et al.* (2018) melaporkan pelapukan bahan organik oleh jamur melalui tiga fase. Endofit menjadi agen pelapuk yang mendominasi pada fase pertama. Pada fase kedua, spesies jamur yang mampu menghasilkan enzyme endosellulase dan endoxylanase menggantikan dominasi jamur endofit. Pada fase ketiga, jamur dari famili Basidiomycota biasanya mulai ditemukan, yaitu jamur dengan kemampuan merombak lignin dan asam humik. Karakteristik bahan kompos juga menentukan durasi pengomposan. Bahan kompos yang mengandung lignin akan lebih sulit terurai, sedangkan bahan yang mengandung selulosa dan hemiselulose lebih mudah terurai. Oleh karenanya, isolasi dekomposer spesifik dapat dilakukan untuk mendapatkan agen pengurai yang sesuai dengan karakteristik bahan kompos.

Phanerochaete

chrysosporium

merupakan jamur pelapuk putih yang diketahui dapat merombak lignin, sekaligus selulosa dan hemiselulosa (Fernandez-fueyo *et al.*, 2012). Dalam lingkungan aerobik, *P. chrysosporium* dapat mengurangi satu gram lignin dari bahan organik yang berbeda dalam waktu dua hari (Madadi & Abbas, 2017). Dalam limbah pulp, kadar lignin tergolong tinggi, dicirikan dengan warna limbah yang berwarna hitam. *P. chrysosporium* mendegradasi lignin dengan memproduksi enzim lignin peroxidase (LiP) dan mangan peroxidase (MnP) (Costa *et al.*, 2017). Menurut Falade *et al.* (2017), mekanisme aksi dari MnP adalah sebagai katalitik oksidasi dari Mn^{2+} menjadi Mn^{3+} yang sangat reaktif sehingga dapat mengoksidasi sebagian besar material phenolik, termasuk struktur lignin phenolic. Sementara itu, LiP memiliki redoks potensial tinggi untuk mengoksidasi non-fenolik struktur, dengan 90% lignin berstruktur non-fenolik.

Selain jamur pelapuk putih, jamur dari spesies *Penicillium* juga diketahui dapat merombak bahan organik melalui sekresi enzim sellulase dan xylanase (Gusakov & Sinitsyn, 2012). *Penicillium citrinum* diketahui dapat mensekresi xylanase (Bagewadi *et al.*, 2016), endoglucanase dan β -galactanase (da Costa *et al.*, 2018). Menurut Saratale *et al.* (2014), suhu optimum untuk menghasilkan endoglucanase dan xylanase oleh *P. citrinum* hampir mirip dengan *P. chrysosporium*, yaitu 30° C dengan metode *solid state fermentation* (SSF). *P. citrinum* juga diketahui dapat merombak lignin dan holocellulose (Islam & Borthakur, 2011). Sementara itu, *P. oxalicum* telah hampir 20 tahun dimanfaatkan untuk produksi glycoside-hydrolase skala industri di Cina (Li *et al.*, 2016). *P. oxalicum* juga dapat mensekresi enzyme sellulase dan xylanase (Aoyama *et al.*, 2015; Gong *et al.*, 2015).

Aplikasi kompos limbah pulp pada tanaman serat penghasil pulp akan menjadikan aktivitas industri pulp berdaur produksi sirkular. Sementara itu, beberapa tanaman lokal juga potensial sebagai penghasil pulp, salah satunya yaitu geronggang (*Cratoxylum arborescens*). Geronggang merupakan tanaman lokal lahan gambut dan saat ini marak diusahakan di Provinsi Riau sebagai tanaman pencegah kebakaran (Putra, 2019). Menurut Aprianis *et al.* (2018), kayu geronggang alam dan dari

hutan tanaman juga dapat digunakan sebagai bahan baku industri pulp. Pemanfaatan tanaman lokal sebagai bahan baku industri akan memiliki pengaruh positif bagi lingkungan, antara lain menjaga kelestarian spesies lokal dan keanekaragaman habitat terpelihara. Oleh karenanya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon bibit geronggang terhadap pemberian kompos dari limbah pulp yang diproduksi dengan tiga dekomposer berbeda.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Bahan

Penelitian ini dilakukan di persemaian Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Serat Tanaman Hutan, Kampar, Provinsi Riau (018°59.4" LU, 100°57'55.2" BT) pada tahun 2014. Lokasi penelitian memiliki kisaran suhu udara 21-35° C, kelembapan nisbi 78-94%, curah hujan 285 mm/tahun dan jumlah hari hujan 178 hari/tahun (KPHP Unit Model XVIII Kampar Kiri, 2014). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah kompos dari limbah pulp dengan penambahan tiga macam dekomposer, yaitu (1) *Phanerochaete chrysosporium* (C), (2) kombinasi *Penicillium citrinum* dan *Penicillium oxalicum* (CO), serta (3) kombinasi *Penicillium citrinum*, *Penicillium oxalicum* dan *Phanerochaete chrysosporium* (CCO). Limbah pulp diperoleh dari pabrik pulp di Sumatra

Utara (Gambar 1). Jamur *Penicillium citrinum* dan *Penicillium oxalicum* diperoleh dari penelitian sebelumnya (Wahyuningsih, 2019) sedangkan jamur *Phanerochaete chrysosporium* American Type Culture Collection (ATCC) 34541 diperoleh dari Pusat Bioteknologi, UGM, Yogyakarta, Indonesia. Bibit geronggang umur 3-4 bulan diperoleh dari Desa Ketam Putih, Bengkalis, Riau (102°22'06" BT, 01°22'43" LU). Tanah gambut untuk media tanam diperoleh dari KHDTK Kepau Jaya, Kampar, Riau (101° 26' 41" – 101° 29' 27" BT dan 00° 18' 53" – 00° 17' 44" LU). Bibit geronggang ditanam di *polybag* ukuran 25 cm x 30 cm dan ditandai dengan kertas label untuk membedakan perlakuan.

B. Analisis Kimia Tanah Gambut, Limbah Pulp dan Kompos dari Limbah Pulp

Analisis kimia dilakukan di Laboratorium Seameo Biotrop, Bogor, Indonesia. Analisis kimia tanah gambut dilakukan untuk mengetahui pH, kadar C organik, N total, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S, Zn, Pb, dan Cd serta Kapasitas Tukar Kation (KTK) (me/100g) (Tabel 1). Analisis pH dan KTK dilakukan dengan melarutkan 10 g tanah gambut atau kompos dari limbah pulp berukuran 2 mm ke dalam 50 ml air steril, lalu disentrifuse selama 30 menit. Analisis C organik (%) dilakukan berdasar metode Walkley dan Black. N total (%) dianalisis dengan menggunakan metode Kjeldahl. Persentase P₂O₅ dan S diketahui



Gambar 1. Limbah pulp, bertekstur keras dan kering (A), limbah pulp yang telah dikomposkan selama satu bulan, bertekstur remah dan lembap (B)

Figure 1. Pulp sludge, the texture is hard and dry (A), the pulp sludge after composted for a month, the texture is crumb and moist (B)

Tabel 1. Analisis kimia tanah gambut dan limbah pulp
Table 1. Chemical analysis of the peat soil and pulp sludge

Parameter (Parameters)	Tanah gambut (Peat soil)		Limbah pulp (Pulp sludge) ¹⁾	
	Analisis kimia (Chemical analysis)	Kriteria penilaian hasil analisis tanah (Criteria of soil analysis result assesment) ²⁾	Analisis kimia (Chemical analysis)	Syarat pupuk organik, pupuk hayati dan pembenah tanah remah/curah murni (Requirements for organic fertilizer, natural fertilizer and soil amendment) ³⁾
pH H ₂ O (1:2,5)	4,10	Masam	7,20	4-9
C org (%)	57,33	Sangat tinggi	39,52	Min 15%
N Total (%)	0,97	Sangat tinggi	0,63	Min 4%
C/N ratio	59,10	Sangat tinggi	62,70	15-25
P ₂ O ₅ (%)	0,97	Sangat rendah	0,26	Min 4%
K ₂ O (%)	0,79	Sangat rendah	1,62	Min 4 %
Ca (%)	0,11	Sangat rendah	0,39	
Mg (%)	0,40	Rendah	0,21	
KTK (NH Asetat) (me/100g)	61,24	Sangat tinggi	47,33	
Sulfur (ppm)	2142	Sangat tinggi	137,40	
Zn (ppm)	93,60	Cukup	26,3	
Pb (ppm)	1,90	Batas Normal	4,80	Maks 50 ppm
Cd (ppm)	1,60	Batas Normal	2,60	Maks 2 ppm

Sumber (Source): Wahyuningsih (2019)¹⁾; Sulaeman et al. (2005)²⁾; Permentan 70, 2011³⁾

dengan menggunakan spektrofotometer. Kadar K₂O₅ (%), Ca (%), Mg (%), Zn (ppm), Pb (pm) dan Cd (ppm) diketahui dengan menggunakan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS). Data analisis kimia limbah pulp dan kompos dari limbah pulp dengan penambahan dekomposer *P. chrysosporium*; *P. citrinum* dan *P.oxalicum*; *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* diperoleh dari Wahyuningsih (2019).

C. Rancangan Percobaan

Perlakuan pendahuluan berupa aklimatisasi bibit geronggang di rumah kaca selama satu bulan. Aklimatisasi dilakukan dengan menumbuhkan bibit dalam media air. Setelah satu bulan, bibit yang sehat dan segar ditanam di *polybag* yang sebelumnya telah diisi tanah gambut dengan berat 10 kg. Rancangan percobaan yang digunakan berupa rancangan acak lengkap (RAL). Jumlah bibit geronggang yang diuji dalam setiap perlakuan adalah sebanyak lima bibit. Dosis kompos dari limbah pulp disesuaikan dengan Naik (2007), yang terdiri dari 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 dan 16 (ton ha⁻¹) (Tabel 2). Kompos ditakar dengan timbangan elektrik, lalu disimpan dalam kantong plastik dan diberi label. Kompos yang telah ditakar tersebut kemudian diaplikasikan pada pangkal perakaran bibit geronggang.

Kompos dari limbah pulp yang diujikan dalam penelitian ini berupa kompos yang diperkaya dengan tiga macam dekomposer berbeda yaitu (1) *Phanerochaete chrysosporium* (C), (2) *Penicillium citrinum* dan *Penicillium oxalicum* (CO), (3) *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CCO). Kombinasi perlakuan dosis kompos dan macam dekomposer dapat dilihat pada Tabel 3. Masing-masing kombinasi perlakuan tersebut diulang sebanyak lima kali.

Bibit yang telah mendapat perlakuan diatur secara acak di rumah kaca. Penyiraman dilakukan setiap pagi dengan menggunakan sistem irigasi atas. Pengukuran tinggi bibit dilakukan dengan mengukur tinggi bibit dari

Tabel 2. Dosis kompos dari limbah pulp sesuai dengan dosis pupuk menurut Naik (2007)

Table 2. Dosages of the sludge compost according to Naik (2007)

Dosis kompos limbah pulp (ton ha ⁻¹) (Dosages of the sludge compost) (ton ha ⁻¹)	Kompos dari limbah pulp (g 10 kg ⁻¹) (Pulp sludge compost) (g 10 kg ⁻¹)
2	13,16
4	26,32
6	39,49
8	52,51
10	65,96
12	79,12
14	92,28
16	105,44

Tabel 3. Desain perlakuan yang diujikan dalam penelitian
Table 3. Treatments design observed in the study

No.	Dosis kompos (Compost dosages) (ton ha ⁻¹)	Dekomposer (Decomposers)		
		<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	<i>Penicillium citrinum</i> dan <i>Penicillium oxalicum</i>	<i>P. chrysosporium</i> , <i>P. citrinum</i> dan <i>P. oxalicum</i>
1	2	C2	CO2	CCO2
2	4	C4	CO4	CCO4
3	6	C6	CO6	CCO6
4	8	C8	CO8	CCO8
5	10	C10	CO10	CCO10
6	12	C12	CO12	CCO12
7	14	C14	CO14	CCO14
8	16	C16	CO16	CCO16

pangkal batang menggunakan meteran roll. Pengukuran diameter dilakukan dengan menggunakan *caliper*. Pengukuran tinggi dan diameter bibit tanaman dilakukan setiap bulan selama enam bulan. Durasi pengukuran ini dua bulan lebih lama dibanding yang dilakukan oleh Rusmana *et al.* (2014).

D. Analisis Data

Analisis data pertumbuhan tanaman dilakukan dengan menghitung persentase pertambahan tinggi dan diameter bibit di akhir pengamatan. Kemudian, data yang diperoleh diuji dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA). Sementara, pengaruh ragam perlakuan diuji dengan analisis Duncan's Multiple Range Test (DMRT pada tingkat kepercayaan 5%).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan Kandungan Hara

Kompos dari limbah pulp yang diinokulasi jamur *P. citrinum* dan *P. oxalicum* memiliki nisbah C/N yang lebih rendah daripada kompos limbah pulp yang diinokulasi dekomposer lainnya. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7030-2004 tentang Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik, CN ratio untuk kompos dari limbah domestik berkisar 10-20. Nilai nisbah C/N kompos limbah pulp yang digunakan dalam penelitian ini masih belum memenuhi SNI kompos dari limbah domestik (Tabel 4). Nilai nisbah C/N kompos berbanding lurus dengan lama pengomposan karena berkaitan dengan aktivitas dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Kemungkinan, pada durasi pengomposan limbah pulp satu bulan masih

berlangsung proses dekomposisi organik oleh dekomposer. Namun, Danu dan Kurniaty (2013) melaporkan bahwa bibit geronggang dengan umur tiga bulan mengalami persen hidup, pertambahan tinggi dan diameter terbaik pada media campuran arang sekam padi dan serbuk sabut kelapa (1:2, v/v) yang memiliki nisbah C/N 55,48. Lebih lanjut, media campuran arang sekam dan serbuk sabut kelapa tersebut dapat menyediakan kadar hara makro dan mikro yang lebih baik dibanding media tanah sub soil dan serbuk sabut kelapa (1:2, v/v) maupun arang sekam padi dan serbuk sabut kelapa (1:2, v/v) yang memiliki nisbah C/N lebih rendah. Pada Tabel 4, kadar nitrogen tertinggi terdapat pada kompos dengan dekomposer kombinasi *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum*. Sementara itu, berdasar SNI 5006-2:2018 tentang media bibit tanaman kehutanan, kompos limbah pulp memenuhi syarat umum media bibit untuk tanaman asli gambut dan tergolong sebagai bahan pembenah (Tabel 5).

Kompos yang diperkaya dengan dekomposer *P. chrysosporium* memiliki kadar P, K, Ca, Mg dan S lebih tinggi daripada kompos dengan dekomposer lainnya. Kompos yang dihasilkan dari penelitian ini masih dikategorikan sebagai kompos yang belum matang menurut SNI. Oleh karenanya, kemungkinan kadar unsur hara yang tinggi pada kompos dengan dekomposer *P. chrysosporium* diimobilisasi oleh jamur tersebut untuk pertumbuhan sehingga menjadi tidak tersedia untuk tanaman. Berdasarkan Duong (2013), pemberian kompos yang belum matang dapat menyebabkan efek negative pada tanaman, yaitu bau yang kurang sedap, menghambat pertumbuhan tanaman dan mengurangi

Tabel 4. Hasil analisis kimia limbah pulp yang telah dikomposkan dengan penambahan dekomposer *P. chrysosporium* (C), kombinasi *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CO), serta kombinasi *P. citrinum*, *P. oxalicum* dan *P. chrysosporium* (CCO)

Table 4. Chemical analysis of the sludge composted with decomposers addition i.e; *P. chrysosporium* (C); *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CO); *P. citrinum*, *P. oxalicum* dan *P. chrysosporium* (CCO)

Parameter (Parameters)	<i>P. chrysosporium</i> ¹⁾ (C) (<i>P. chrysosporium</i>) ¹⁾ (C)	<i>P. citrinum</i> + <i>P. oxalicum</i> ¹⁾ (CO) (<i>P. citrinum</i> + <i>P. oxalicum</i>) ¹⁾ * (CO)	<i>P. chrysosporium</i> + <i>P. citrinum</i> + <i>P. oxalicum</i> ²⁾ (CCO) (<i>P. chrysosporium</i> + <i>P. citrinum</i> + <i>P. oxalicum</i>) ¹⁾ (CCO)	Syarat pupuk organik, pupuk hayati dan pembenah tanah remah/curah murni ²⁾ (Requirements for organic fertilizer, natural fertilizer and soil amendment) ²⁾
pH H ₂ O (1:2,5)	6,80	6,70	6,90	4-9
C org (%)	46,27	43,85	46,58	Min 15%
N Total (%)	1,04	1,09	1,11	Min 4%
C/N ratio	44,50	40,20	42	15-25
P ₂ O ₅ (%)	1,13	1,08	1,05	Min 4%
K ₂ O (%)	1,13	1,08	1,05	Min 4 %
Ca (%)	0,31	0,26	0,28	
Mg (%)	0,31	0,29	0,28	
KTK (NH Asetat) (me/100g)	46,28	46,81	47,14	
Sulfur (ppm)	164,10	162,80	155,90	
Zn (ppm)	388,20	360,40	249,60	
Pb (ppm)	1,40	1,10	1,30	Maks 50 ppm
Cd (ppm)	1,10	0,90	1,10	Maks 2 ppm

Sumber (Source): Wahyuningsih, 2019¹⁾; Permentan 70, 2011²⁾

ketersediaan N dalam tanah. Di lain pihak, kompos yang diinokulasi jamur *P. citrinum* dan *P. oxalicum* memiliki kadar unsur hara makro yang lebih rendah daripada kompos dengan inokulasi jamur *P. chrysosporium*. Namun, sepertinya kadar hara yang rendah tersebut memacu jamur *P. citrinum* dan *P. oxalicum* untuk mendekomposisi C organik dalam kompos limbah pulp yang telah diaplikasikan pada bibit geronggang. Sebagai hasilnya, peruraian C organik tersebut akan menghasilkan unsur hara yang dapat dimanfaatkan oleh bibit ataupun jamur dekomposer untuk pertumbuhan.

Sementara, kompos dari limbah pulp dengan inokulasi jamur *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* tidak lebih baik dalam menyediakan unsur hara bagi bibit geronggang dibanding kompos dengan inokulasi *P. citrinum* dan *P. oxalicum*. Kemungkinan kombinasi tiga jamur yang berbeda tersebut mengkonsumsi hara yang terkandung dalam kompos cukup tinggi sehingga ketersediaan hara untuk bibit menjadi rendah. Pada Tabel 4 terlihat kadar unsur hara pada kompos yang diinokulasi kombinasi jamur *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* secara umum lebih rendah

Tabel 5. Standar Nasional Indonesia (SNI) 5006-2:2018 Media bibit untuk tanaman hutan asli gambut

Table 5. Indonesian National Standard (ISN 5006-2:2018) Seedling transplanting media for peat forest native species

Syarat umum media bibit untuk tanaman asli gambut (General requirements for nursery media for peat native species)	Bahan pembenah tanah (Soil amendment)
<ul style="list-style-type: none"> • Mengandung bahan organik dan nutrisi yang tersedia bagi bibit • Keteguhan media cukup dan pH sesuai dengan lahan tanam 	<ul style="list-style-type: none"> • Kompos/pupuk cair organik yang tidak mengandung logam berat • Pasir, serbuk sabut kelapa, arang sekam, serbuk gergaji • Tanah mineral • Dolomit/kapur pertanian

Sumber (Source): Wardoyo et al. (2018)

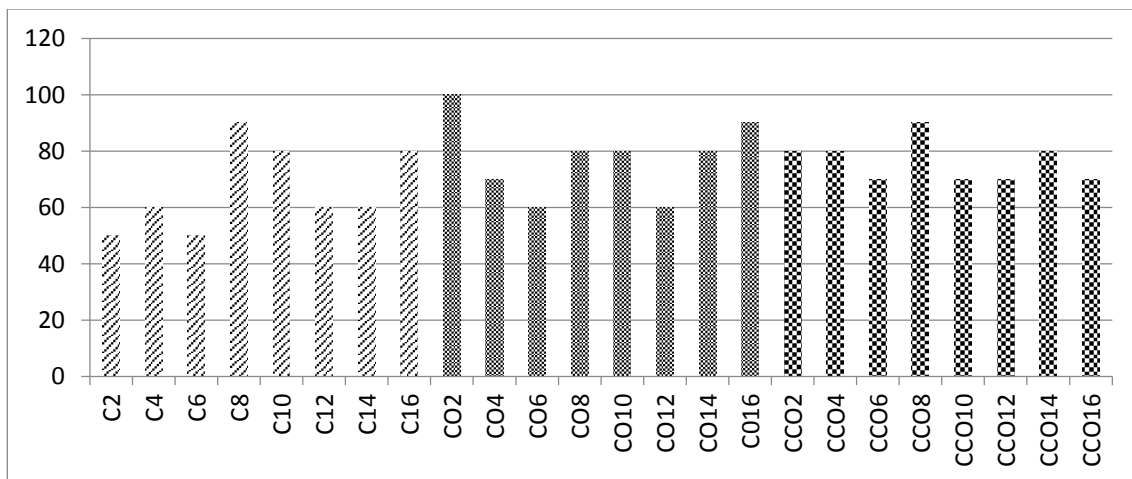
daripada kompos yang diinokulasi jamur *P. chrysosporium* saja atau kombinasi *P. citrinum* dan *P. oxalicum*. Akibatnya, meski aplikasi kompos yang diinokulasi dengan tiga dekomposer berbeda dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi bibit geronggang pada tanah gambut, namun rerata tinggi bibit yang dihasilkan masih lebih unggul pada pemberian kompos dengan dekomposer *P. chrysosporium* saja maupun kombinasi *P. citrinum* dan *P. oxalicum*.

B. Pertumbuhan bibit geronggang

Secara statistik, rerata pertumbuhan tinggi bibit geronggang yang diaplikasi kompos yang diperkaya kombinasi dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CO) berbeda nyata dengan perlakuan penambahan kompos yang diperkaya dekomposer *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CCO) (Gambar 4). Namun, rerata tinggi bibit yang diaplikasi kompos dengan dekomposer *P. chrysosporium* (C) tidak berbeda nyata dengan rerata tinggi bibit yang diaplikasi kompos dengan dekomposer *P. oxalicum* dan *P. citrinum* (CO) maupun dengan kombinasi *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CCO) (Gambar 4). Rerata pertambahan tinggi bibit geronggang dengan penambahan kompos yang mengandung dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CO) yaitu 9,28 cm

(27,61%). Sementara, rerata pertambahan tinggi bibit dengan pemberian kompos yang mengandung dekomposer *P. chrysosporium* (C) yaitu 6,27 cm (16,62%). Kompos dengan kombinasi dekomposer *P. citrinum*, *P. oxalicum* dan *P. chrysosporium* (CCO) meningkatkan tinggi bibit hingga 4,85 cm (17,39%) setelah enam bulan tanam.

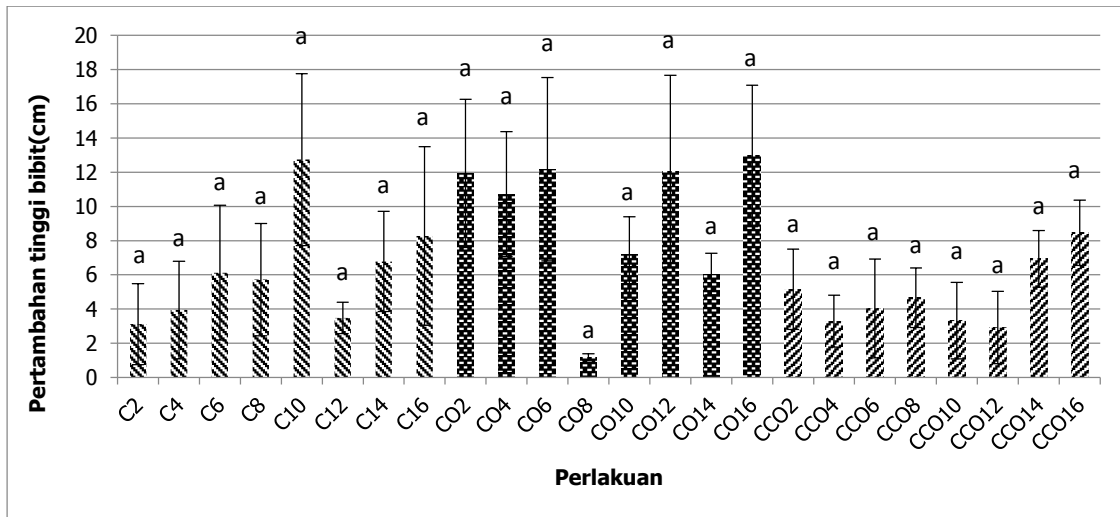
Pertambahan tinggi bibit menunjukkan tidak ada beda nyata pada perlakuan variasi dosis dan jenis dekomposer (Gambar 3). Meskipun demikian, penambahan kompos limbah pulp yang diperkaya dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* dengan dosis setara 16 (ton ha⁻¹) (CO16) mampu meningkatkan tinggi bibit hingga 12,96 cm (39,4%) setelah enam bulan tanam (Gambar 2). Namun, pemberian kompos dengan dekomposer yang sama pada dosis setara 8 (ton ha⁻¹) (CO8) hanya mampu meningkatkan tinggi bibit hingga 1,18 cm (2,94%) setelah enam bulan tanam. Kemungkinan bibit dengan perlakuan CO8 tersebut mengalokasikan nutrisi yang diserap dari kompos untuk pertumbuhan diameter atau akar. Pertumbuhan diameter bibit dengan perlakuan CO8 adalah sebesar 0,148 (cm) (39,76%). Pada penelitian ini, setiap perlakuan diatur secara acak di persemaian. Kemungkinan, bibit yang mengalokasikan pertumbuhan pada pertambahan diameter atau akar adalah bibit



Keterangan: Secara berturut-turut C2-C16, CO2-CO16 dan CCO2-CCO16 adalah kompos limbah pulp dengan dosis setara 2-16 (ton ha⁻¹) yang diperkaya dengan tiga dekomposer berbeda yaitu *P. chrysosporium* (C), *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CO) dan kombinasi *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CCO).

Remarks: C2-C16, CO2-CO16 and CCO2-CCO16 are respectively pulp sludge compost with dosages equal to 2-16 (ton.ha¹) and enriched with three different decomposers i.e; *P. chrysosporium* (C); *P. citrinum* and *P. oxalicum* (CO); *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CCO).

Gambar 2. Persen hidup bibit geronggang setelah 6 bulan tanam
Figure 2. Survival of geronggang seedlings after six months of planting



Keterangan: Lihat Gambar 2 untuk informasi perlakuan. Bar/batang yang diikuti huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata antar perlakuan.

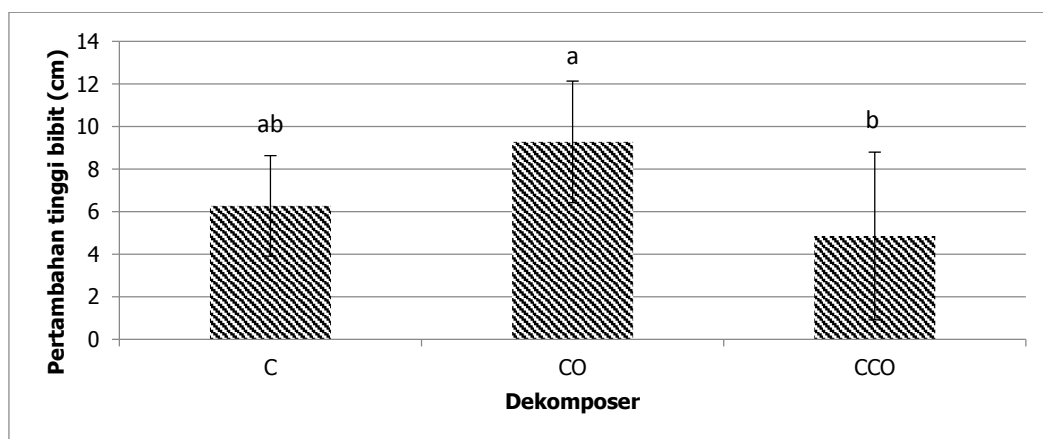
Remarks: See Figure 2 for treatments information. Bar followed by a same letter showed no significant difference among treatments.

Gambar 3. Pertambahan tinggi (cm) bibit geronggang di tanah gambut selama enam bulan dengan penambahan kompos dari limbah pulp
Figure 3. The height increment (cm) of geronggang seedlings in the peat soil for six months after sludge compost addition

yang kekurangan cahaya matahari atau air. Beberapa penyebab di antaranya adalah bibit dikelilingi oleh tanaman yang lebih tinggi atau letak bibit yang jauh dari sumber air.

Sementara itu, pemberian kompos dengan dekomposer *P. citrinum* dan *P.*

oxalicum pada dosis setara 6 (ton.ha⁻¹) (C06) dan 12 (ton.ha⁻¹) (C012) memberikan pertambahan diameter yang berbeda nyata dengan perlakuan pemberian kompos dengan kombinasi dekomposer *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* pada dosis setara (12



Keterangan: Secara berturut-turut C, CO dan CCO adalah kompos limbah pulp yang mengandung dekomposer berbeda yaitu *P. chrysosporium*, kombinasi *P. citrinum* dan *P. oxalicum* serta kombinasi *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum*. Bar/batang yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan.

Remarks: C, CO and CCO are respectively pulp sludge compost enriched with decomposers i.e; *P. chrysosporium* (C); *P. citrinum* and *P. oxalicum* (CO); *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* (CCO). Bar followed by a same letter showed no significant difference among treatments.

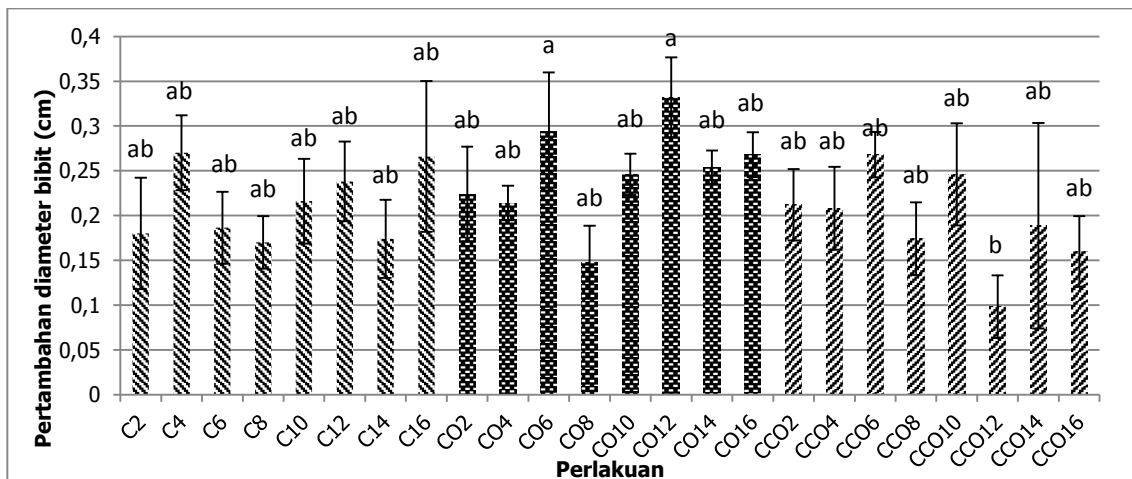
Gambar 4. Rerata pertumbuhan tinggi bibit geronggang (cm) selama enam bulan setelah diaplikasi kompos dari limbah pulp
Figure 4. The average of height increment of the seedlings (cm) for six months after the pulp sludge addition

ton.ha⁻¹) (CCO12) (Gambar 5). Pertambahan diameter bibit pada perlakuan kompos dengan dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* dengan dosis setara 6 dan 12 (ton.ha⁻¹) secara berturut-turut yaitu 0,29 (cm) (98,55%) dan 0,33 (cm) (102%) (Gambar 5). Namun, pertambahan diameter bibit pada aplikasi kompos dengan dekomposer kombinasi *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* pada dosis setara 12 (ton.ha⁻¹) (CCO12) hanyalah 0,098 (cm) (32%) (Gambar 4). Sementara, pengaruh jenis dekomposer tidak menunjukkan beda nyata terhadap pertambahan diameter bibit (Gambar 6). Beberapa penyebab kompos tidak bisa dimanfaatkan oleh bibit secara optimal adalah kompos terlarut oleh air irigasi sehingga tidak terjangkau daerah perakaran atau kompos tidak terlarut ke daerah perakaran karena air irigasi tidak bisa menjangkau media tanam.

Respon bibit geronggang yang berbeda terhadap penambahan kompos dari limbah industri pulp menunjukkan perbedaan kualitas kompos. Kompos dengan dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* memiliki pH, N total (%), P tersedia (ppm), K total (cmol/kg) dan CN ratio secara berturut-turut 6,7; 10.900; 10.800; 10.800; 40,2. Rerata pertumbuhan tinggi dan diameter bibit geronggang setelah penambahan kompos dengan dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* yaitu masing-masing

27,61% (Gambar 2) dan 82,73% (Gambar 4) setelah enam bulan tanam. Sementara, Danu dan Kurniaty (2013) menunjukkan pertumbuhan tinggi dan diameter bibit geronggang terbaik pada media campuran arang sekam padi dan serbuk sabut kelapa (1:2, v/v), yang mengandung pH, N total (%), P tersedia (ppm), K total (cmol/kg) dan CN ratio secara berturut-turut 6,25; 0,7; 31,43; 16,82; 55,48. Pertumbuhan tinggi dan bibit geronggang pada penelitian tersebut masing-masing sebesar 11,1 % dan 1,51% setelah tiga bulan tanam. Di lain pihak, penelitian yang dilakukan oleh Mojiol et al. (2014) menunjukkan pertumbuhan tinggi dan diameter bibit geronggang di hutan gambut bekas terbakar masing-masing dapat mencapai 24,17% dan 2,76% setelah 2,5 bulan. Pada hutan gambut bekas terbakar, pH dan kesuburan tanah akan meningkat namun hanya sementara (Hermanto & Wawan, 2017).

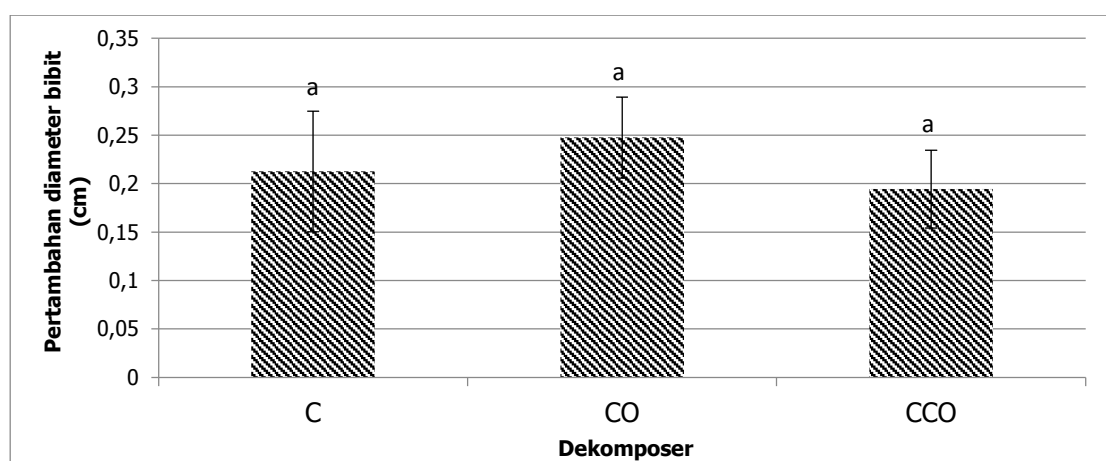
Penambahan dekomposer berupa jamur ke dalam limbah pulp berperan dalam mempercepat proses perombakan bahan organik. Dekomposisi bahan organik oleh mikroba ataupun mikrofauna memiliki tiga fungsi bagi mikroflora, yaitu menyediakan antara lain energi untuk tumbuh, karbon untuk formasi materi sel dan nutrisi, dan elemen lainnya untuk pertumbuhan mikroflora (Khattoon et al., 2017). Hasil



Keterangan: Lihat Gambar 2 untuk informasi perlakuan. Bar/batang yang diikuti huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata antar perlakuan.

Remarks: See Figure 2 for treatments information. Bar followed by a same letter showed no significant difference among treatments.

Gambar 5. Pertambahan diameter bibit geronggang (cm) di tanah gambut selama enam bulan dengan penambahan kompos dari limbah pulp
Figure 5. The seedlings diameter increment (cm) in peat soil for six months after sludge compost addition



Keterangan: Lihat Gambar 4 untuk informasi perlakuan. Bar/batang yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan.

Remarks: See Figure 4 for treatments information. Bar followed by a same letter showed no significant difference among treatments.

Gambar 6. Pertumbuhan diameter bibit geronggang (cm) selama enam bulan setelah diaplikasi kompos dari limbah pulp

Figure 6. The average of diameter increment of the seedlings (cm) for six months after the pulp sludge addition

mineralisasi bahan organik oleh mikroba adalah mineral dan unsur hara yang dapat dimanfaatkan tumbuhan sebagai nutrisi. Kompos dari limbah pulp (Tabel 4) mengandung unsur hara makro N, P dan Mg lebih tinggi daripada limbah pulp yang tidak dikomposkan (Tabel 1). Selain itu, kompos dari limbah pulp juga mengandung aktif dekomposer, yang jika kompos tersebut diaplikasikan pada media tanam dapat meningkatkan kegiatan perombakan bahan organik dalam media tanam tersebut. Dalam penelitian ini, sepertinya setelah aplikasi kompos ke tanah gambut, dekomposer yang masih aktif dalam kompos tersebut melakukan perombakan bahan organik. CN ratio yang masih tinggi pada kompos limbah pulp (Tabel 4) menyediakan sumber energi bagi dekomposer. Perombakan bahan organik oleh dekomposer juga meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Bervariasinya pertambahan tinggi bibit geronggang setelah pemberian kompos

limbah pulp pada berbagai dosis menunjukkan kadar nutrisi yang beragam dari kompos limbah pulp.

Dalam proses dekomposisi bahan organik, mikroba juga memproduksi asam organik yang dapat meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman. Masing-masing spesies mikroba menghasilkan asam

organik spesifik dalam kuantitas yang berbeda pula. Perbedaan kualitas kompos dari limbah industri pulp yang diperkaya dengan tiga macam dekomposer berbeda inipun, salah satunya dipengaruhi oleh jenis dan kuantitas asam organik yang diekskresikan oleh mikroba selama proses dekomposisi bahan organik. *P. citrinum* diketahui memproduksi asam sitrat (Das & Das, 2019) dan asam oksalat (Sazanova et al., 2014). *P. oxalicum* selain memproduksi asam oksalat, juga menghasilkan asam format dan tartarat (Li et al., 2016). Sementara itu, *P. chrysosporium* juga diketahui memproduksi asam oksalat, malat, dan fumarat (Hu et al., 2018).

Pada tanah masam, kadar Al, Fe dan Mg tergolong tinggi yang dapat bersifat racun bagi tanaman (Bojórquez-Quintal et al., 2017). Asam sitrat, malat dan oksalat merupakan asam organik yang paling efektif dalam mengurangi sifat meracun Al karena dapat membentuk lima hingga enam struktur ikatan stabil dengan Al (Ma, 2000). Asam sitrat dan oksalat diketahui dapat membentuk kompleks dengan fosfor sehingga adsorpsi fosfor oleh mineral maupun khemikalia dalam tanah berkurang (Schmitt et al., 2018). Di sisi lain, produksi asam organik oleh mikroba akan menurunkan pH tanah. Terlebih tanah gambut yang digunakan sebagai media tanam dalam penelitian ini juga tergolong sebagai tanah

masam, memiliki kadar sulfur tinggi dan selalu tergenang air (Tabel 1). Pada penelitian ini, bibit geronggang mengalami penambahan tinggi mulai dari 2,94% hingga 39,4% (Gambar 2). Nampaknya, kemasaman tanah tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman geronggang yang merupakan spesies lokal lahan gambut. Sementara itu, penambahan kompos dari limbah industri pulp memiliki pengaruh positif terhadap penambahan tinggi dan diameter bibit geronggang.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Kompos limbah pulp dengan penambahan dekomposer *P. chrysosporium*, kombinasi *P. citrinum* dan *P. oxalicum* serta kombinasi *P. chrysosporium*, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* yang diaplikasikan ke tanah gambut dapat meningkatkan pertumbuhan bibit geronggang. Rerata penambahan tinggi bibit geronggang dengan penambahan kompos limbah pulp yang diperkaya dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* tidak berbeda nyata dengan tinggi bibit geronggang yang diberi kompos limbah pulp dengan dekomposer *P. chrysosporium*. Begitu juga rerata penambahan diameter bibit geronggang tidak menunjukkan beda nyata antar perlakuan. Namun, bibit geronggang bertambah tinggi 12,96 cm (39,4%) dan diameter bertambah besar 0,33 cm (102%) masing-masing setelah pemberian kompos limbah pulp yang diperkaya kombinasi dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* pada dosis setara 16 (ton.ha⁻¹) dan 12 (ton.ha⁻¹). Tanah gambut yang diaplikasi kompos limbah pulp memenuhi syarat sebagai media tanam bibit tanaman menurut SNI media tanam tanaman kehutanan (SNI 5006-2:2018). Namun, kompos yang dihasilkan dari limbah pulp ini belum memenuhi SNI spesifikasi kompos dari sampah organik domestik (SNI 19-7030-2004).

B. SARAN

Dekomposer *P. citrinum* dan *P. oxalicum* dapat digunakan sebagai jamur pengurai limbah padat industri pulp. Namun, durasi inkubasi perlu diperpanjang untuk memperoleh kompos yang memenuhi kriteria

SNI 19-7030-2004 Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang telah mendanai penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

SW: kontributor utama, konseptualisasi penelitian dan penulisan, koordinator penelitian, analisis hasil, interpretasi hasil dan penulisan naskah; AW: anggota penelitian koleksi data, input data; LS: anggota penelitian.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak memiliki konflik kepentingan yang mungkin secara tidak wajar mempengaruhinya dalam menulis artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldila, N. (2016). Pelaku Keberatan Sludge Masuk B3. *Bisnis Indonesia* (Berita). Diambil tanggal 27 Januari 2020 dari <https://kemenperin.go.id>.
- Aoyama, A., Kurane, R., Matsuura, A., & Nagai, K. (2015). Newly isolated *Penicillium oxalicum* A592-4B secretes enzymes that degrade milled rice straw with high efficiency. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 84(5), 1-10.
- Aprianis, Y., Akbar, O. T., & Rizqiani, K. D. (2018). Perbandingan sifat bahan baku dan pulp kraft geronggang (*Cratogeomys arborescens*) alam dan tanaman. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 16(2), 177-183.
- Bagewadi, Z. K., Mulla, S. I., & Shouche, Y. (2016). Xylanase production from *Penicillium citrinum* isolate HZN13 using response surface methodology and characterization of immobilized xylanase on glutaraldehyde-activated calcium-alginate beads. *3 Biotech*, 6(164), 1-18.
- Bani, A., Pioli, S., Ventura, M., Panzacchi, P., Borruso, L., Tognetti, R., Tonon, G., & Brusetti, L. (2018). The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. *Applied Soil Ecology*, 126, 75-84.
- Bojórquez-Quintal, E., Escalante-Magaña, C., Echevarría-Machado, I., & Martínez-Estévez, M. (2017). Aluminum, a friend or foe of higher plants in acid soils. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1767.

- CEPI. (2004). *Pulp and Paper Production Residues*. 0–7. <https://www.cepi.org/>
- Costa, S., Dedola, D. G., Pellizzari, S., Blo, R., Rugiero, I., Pedrini, P., & Tamburini, E. (2017). Lignin Biodegradation in Pulp-and-Paper Mill Wastewater by Selected White Rot Fungi. *Water*, 9(12), 935.
- da Costa, S.G., Pereira, O.L., Ferreira, A. T., Valente, R. H., Rezende, S. T. De, Guimarães, V. M., & Genta, F. A. (2018) *Penicillium citrinum* UFV1 β -glucosidases: purification, characterization, and application for biomass saccharification. *Biotechnol Biofuels*, 11, 226.
- Danu, & Kurniaty, R. (2013). Pengaruh media dan naungan terhadap pertumbuhan pembibitan gerunggang (*Cratoxylum arborescens*). *Jurnal Perbenihan Tanaman Hutan*, 1(1). 43-50.
- Das, D., & Das, D. (2019). *Biochemical Engineering, An Introductory Textbook*. Jeny Stanford Publishing.
- Duong, T. T. T. (2013). Compost effects on soil properties and plant growth (*Dissertation*). Australia: The University of Adelaide.
- Falade, A. O., Nwodo, U. U., Iweriebor, B. C., Green, E., Mabinya, L. V, & Okoh, A. I. (2017). Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. *MicrobiologyOpen*, 6(1). e00394.
- Fernandez-fueyo, E., Francisco, J., Ferreira, P., Floudas, D., David, S., Canessa, P., Larrondo, L. F., James, T. Y., Lobos, S., Polanco, R., Tello, M., Watanabe, T., Watanabe, T., San, R. J., Kubicek, C. P., Schmoll, M., Gaskell, J., Hammel, E., John, F. J. S., ... Cullen, D. (2012). Comparative genomics of *Ceriporiopsis subvermisporea* and *Phanerochaete chrysosporium* provide insight into selective lignolysis. *PNAS*, 109(21). 8352.
- Gong, W., Zhang, H., Liu, S., Zhang, L., Gao, P., Chen, G., & Wang, L. (2015). Comparative secretome analysis of *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei*, and *Penicillium oxalicum* during solid-state fermentation. *Appl Biochem Biotechnol* 177, 1252–1271.
- Gusakov, A., & Sinitsyn, A. P. (2012). Cellulases from *Penicillium* species for producing fuels from biomass. *Biofuels*, 3(4). 463-477.
- Hermanto, & Wawan. (2017). Sifat-sifat tanah pada berbagai tingkat kebakaran lahan gambut di Desa Rimbo Panjang Kecamatan Tambang. *JOM FAPERTA*, 4(2), 1–13.
- Hu, C., Huang, D., Zeng, G., Cheng, M., Gong, X., Wang, R., Xue, W., Hu, Z., & Liu, Y. (2018). The combination of Fenton process and *Phanerochaete chrysosporium* for the removal of bisphenol A in river sediments: Mechanism related to extracellular enzyme, organic acid and iron. *Chemical Engineering Journal*, 338, 432–439.
- Islam, N. F., & Borthakur, S. K. (2011). Study of fungi associated with decomposition of rice stubble and their role in degradation of lignin and holocellulose. *Mycosphere* 2(6), 627-635.
- Khatoon, H., Solanki, P., Narayan, M., Tewari, L., & Rai, J. (2017). Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem. *International Journal of Chemical Studies*, 5(6), 1648–1656.
- KPHP Kampar Kiri (2014). Rencana Pengelolaan Hutan Jangka Panjang Kesatuan pengelolaan Hutan Produksi (RPHJP KPHP) Model Unit XVIII Kampar Kiri Tahun 2015-2024 (p. 104).
- Li, Z., Bai, T., Dai, L., Wang, F., Tao, J., Meng, S., Hu, Y., Wang, S., & Hu, S. (2016). A study of organic acid production in contrasts between two phosphate solubilizing fungi: *Penicillium oxalicum* and *Aspergillus niger*. *Scientific Reports*, 6, 25313.
- Ma, J. F. (2000). Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants. *Plant and Cell Physiology*, 41(4), 383–390.
- Madadi, M., & Abbas, A. (2017). Lignin degradation by fungal pretreatment: A review. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 8(2).
- Mojiol, A. R., Wahyudi, & Nasly, N. (2014). Growth Performance of Three Indigenous Tree Species (*Cratoxylum arborescens* Vahl. Blume, *Alstonia spathulata* Blume, and *Stemonurus scorpioides* Becc.) Planted at Burned Area in Klias Peat Swamp Forest, Beaufort, Sabah, Malaysia. *Journal of Wetlands Environmental Management*, 2(1), 66–78.
- Naik, S. P. (2007). *Studies on microbial consortia for production and enrichment of bio-compost from grapevine residues*. University of Agricultural Sciences, Dharwad.
- Permentan 70 (2011) Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenah Tanah.
- Putra, H. (2019). *Hari penanaman pohon pedunia, Ketua DPRD Provinsi Riau tanam pohon geronggang di Bengkalis*. borgolnews.com.
- Rusmana, Rachmanadi, D., Santoso, P. B., Yuwanti, T. W., & Graham, L. L. B. (2014). Response of Peat Swamp Forest Species Seedlings to Light Intensity. In *Tropical Peat Swamp Forest Silviculture in Central Kalimantan: A Series of Five Papers*. Indonesia-Australia Forest Carbon Partnership.
- Saratale, G. D., Kshirsagar, S. D., Sampange, V. T., Saratale, R. G., Oh, S.-E., Govindwar, S. P., & Oh, M.-K. (2014). Cellulolytic enzymes

- production by utilizing agricultural wastes under solid state fermentation and its application for biohydrogen production. *Appl Biochem Biotechnol*, 174, 2801–2817.
- Sazanova, K.V., Shchiparev, S.M. & Vlasov, D.Y. (2014). Formation of organic acids by fungi isolated from the surface of stone monuments. *Microbiology* 83, 516–522.
- Schmitt, D. E., Gatiboni, L. C., Orsoletta, D. J. D., & Brunetto, G. (2018). Formation of ternary organic acids-Fe-P complexes on the growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(10), 702–706.
- Standar Nasional Indonesia. (2004). SNI: 19-7030-2004: Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik. Badan Standarisasi Nasional.
- Sulaeman, Suparto, & Evianti (2005). *Petunjuk Teknis Analisis imia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk* (B. H. Prasetyo, D. Santoso, & L. W. Retno (eds.); 2nd ed.). Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Wahyuningsih, S. (2019). Biodegradation of pulp sludge by *Phanerochaete chrysosporium*, *Penicillium oxalicum* and *Penicillium citrinum* after six months incubation. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 6(2), 95–105.
- Wardojo, N. A., Sarri, Y. P., Baroroh, N., Respati, S., Pratamaningtyas, S. N. H., Endom, W., Siswiyanti, Y., Sudrajat, D. J., Rusolono, T., Dikusumah, F., Ikhsan, M., Yulianto, Widyaningtyas, N., Purbawiyatna, A., Akhmad, Pramono, A. A., Zanzibar, Iftitah, N., & Suryaman, E. (2018). *SNI 5006-2:2018*. Media bibit tanaman hutan. Badan Standarisasi Nasional.