

**PEMANFAATAN SISA MEDIA JAMUR PELAPUK PADA
DEKOMPOSISI LIMBAH PADAT PULP *Acacia mangium*
(*The Utilization of Rotting Fungi Spent Compost for Decomposition
of Acacia mangium Pulp Sludge*)**

Sihati Suprpti, Djarwanto & Sri Komarayati

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor 16610
Telp. (0251) 8633378 ; Fax. (0251) 8633413.
E-mail : sihatisuprpti@yahoo.com

Diterima 20 Juli 2016, Direvisi 22 Juni 2017, Disetujui 20 September 2017

ABSTRACT

Currently, *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus*, and *P. sajor-caju* are prospective fungi for decomposition of pulp and paper industry's waste. This paper studies the possible utilization of rotting fungi spent compost for decomposition of mangium sludge. Initially, the fungi were cultivated for three months on medium prepared from sengon (*Falcataria moluccana*) wood sawdust. The rotting fungi spent compost was then used for degrader activator by inoculating them into the *Acacia mangium* sludge, then, incubated for six months. Results revealed that after three month incubation the values of the Biological Conversion Efficiency (BCE) of sengon reached 13.41% (*G. lucidum*), 47.11% (*P. ostreatus*), and 38.06% (*P. sajor-caju*). Fungal inoculation into the sludge improved the C/N ratio as much as 71.59%. The usage of higher concentration of *G. lucidum* inoculums increased the C/N ratio value. After six months incubation, some sludge contents reduced by 48.76% (N), 35.42% (P) and 25% (K), except for Ca and Mg, which increased by 112.9% and 6.67%, respectively. Mineral content of the untreated sludge decreased by about 66.12% (Ca), 68.75% (P) and 4.17% (Mg), except for K and Ca which were increased by 2.08% and 64.52%, respectively. Cation exchange capacity (CEC) value of the sludge after incubation increased by about 3.85% (control) and 56.8% (treated).

Keywords: Sludge, rotting fungi, BCE value, nutrient contents, CEC

ABSTRAK

Saat ini, jamur *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus*, dan *P. sajor-caju* berprospek untuk mendekomposisi limbah industri pulp dan kertas. Tulisan ini mempelajari kemungkinan pemanfaatan sisa media jamur pelapuk untuk dekomposisi limbah padat mangium. Jamur tersebut dibudidayakan terlebih dahulu pada media serbuk gergaji kayu sengon (*Falcataria moluccana*) selama tiga bulan. Sisa media jamur digunakan sebagai aktivator degradasi, dengan cara diinokulasikan ke dalam limbah padat pulp *Acacia mangium*, kemudian diinkubasikan selama enam bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam tiga bulan masa inkubasi, nilai Efisiensi Konversi Biologi (EKB) oleh jamur pada serbuk gergaji kayu sengon adalah 13,41% (*G. lucidum*), 47,11 % (*P. ostreatus*), dan 38,06% (*P. sajor-caju*). Inokulasi jamur ke dalam limbah padat meningkatkan nisbah C/N sebesar 71,59%. Semakin tinggi konsentrasi inokulan *G. lucidum*, nilai C/N cenderung meningkat. Setelah enam bulan, kadar unsur haranya turun sebesar 48,76% (N); 35,42% (P), dan 25% (K), namun kadar Ca dan Mg meningkat masing-masing sebesar 112,9% dan 6,67%. Pada kontrol terjadi penurunan sebesar 66,12% (Ca); 68,75% (P); 4,17% (Mg), dan terjadi kenaikan kadar K dan Ca masing-masing 2,08% dan 64,52%. Rata-rata nilai kapasitas tukar kation (KTK) limbah padat setelah inkubasi selama enam bulan naik 3,85% (kontrol) dan 56,8% (yang diinokulasi dengan jamur).

Kata kunci: Limbah padat, jamur pelapuk, nilai EKB, unsur hara, KTK

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri pulp dan kertas memiliki prospek cerah, namun implikasi dari kegiatan industri tersebut akan diikuti oleh penurunan kualitas lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran limbah yang dihasilkan (Prayitno & Sukosrono, 2007; Purwati, Soetopo, & Setiawan, 2006). Industri pulp dan kertas yang menggunakan kayu mangium (*Acacia mangium* Willd.) sebagai bahan baku menghasilkan limbah padat (*sludge*) dan limbah cair. Limbah padat (*sludge*) merupakan campuran dari endapan limbah cair dari proses primer dan sekunder yang kandungan utamanya adalah serat selulosa dan bakteri mati dan memiliki serat pendek (Sinuhaji, 2008).

Jumlah limbah padat terutama *sludge* dari pabrik pulp dan kertas lebih kurang sepertiga dari jumlah seluruh limbah yang dihasilkan (Sinuhaji, 2008). Jumlah limbah tersebut relatif besar, apabila tidak diantisipasi dengan cepat akan menimbulkan masalah bagi lingkungan di sekitar perusahaan. Saat ini, limbah padat tersebut ditanam dalam tanah (*landfill*) ataupun ditumpuk begitu saja (*open dumping*) sehingga memerlukan lahan yang luas (Aritonang & Indrawan, 2009; Yuzelma, Ahmad, & Nofrizal, 2013). Penumpukan limbah padat di tanah dikhawatirkan dapat menimbulkan masalah pencemaran lingkungan, terutama pencemaran air tanah dan air permukaan serta dapat menyebabkan lahan menjadi tidak produktif. Lebih membahayakan lagi jika limbah mengandung logam berat yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan.

Cara penumpukan limbah tidak efektif lagi dilakukan karena ketatnya peraturan lingkungan yang membatasi waktu penyimpanan limbah (Yuzelma et al., 2013). Oleh karena itu, limbah padat tersebut diusahakan untuk dimanfaatkan. Sebagai contoh PT. TEL (Tanjung Enim Lestari) telah berupaya mengurangi limbah yang ditimbun di dalam tanah dengan cara mengumpukan kembali ke dalam proses, dan telah dicoba sebagai media pencampur dalam pembuatan kompos (Aritonang & Indrawan, 2009). Gusmailina dan Komarayati (2009) dan Komarayati, Pasaribu, dan Roliadi (2009) telah memanfaatkan limbah padat untuk pupuk organik, arang kompos, dan karton.

Untuk menjaga kesehatan lingkungan, jamur dapat digunakan dalam proses remediasi lingkungan. Jamur dapat tumbuh sendiri secara

alami dan mendegradasi limbah lignoselulosa. Beberapa jamur pelapuk (*rotting fungi*) yang digunakan dalam biodegradasi limbah industri pulp dan kertas antara lain *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus*, dan *P. sajor-caju* (Mtui, 2012; Suprapti, 2013). Sisa media jamur (*spent compost*) jamur shiitake yang diinokulasikan pada tanah yang mengandung pentachlorophenol dapat menurunkan pencemar tersebut sebesar 44-61% (Suprapti, 2013).

Ganoderma, selain berfungsi sebagai agen biodegradasi (dekomposer) juga merupakan jamur berkhasiat obat dan telah digunakan sebagai bahan obat tidak beracun (*non-toxic medicine*) yang bermanfaat untuk meningkatkan daya ingat, pendengaran, penglihatan, dan penciuman (Chang & Miles, 2004). Menurut Chang dan Miles (2004), Paterson (2006), dan Wang dan Ng (2006), miselium dan tubuh buah jamur *G. lucidum* memiliki senyawa bioaktif yang berkhasiat sebagai anti-tumor, anti-hipertensi, anti-oksidan, anti-diabetic, dan anti-HIV (*Human Immunodeficiency Virus*). Selain itu, sejak zaman dulu jamur *Pleurotus* telah dikenal memiliki nilai manfaat medis dan telah digunakan dalam pengobatan tradisional rakyat di seluruh dunia. Jamur *P. ostreatus* dan *P. sajor-caju* dilaporkan memiliki pengaruh anti HIV, anti tumor, antioksidan, menurunkan kadar gula dan kolesterol, dapat memecahkan masalah kekurangan gizi, serta menurunkan tekanan darah (Gregori, Švagelj, & Pohleven, 2007; Patel, Naraian, & Singh, 2012). Tulisan ini mempelajari remediasi limbah padat mangium (*Acacia mangium*) oleh jamur pelapuk (*G. lucidum*, *P. ostreatus*, *P. sajor-caju*) dan mengetahui nilai degradasi limbah padat tersebut.

II. BAHAN DAN METODE

A. Lokasi Penelitian

Serbuk gergaji kayu sengon (*Falcataria moluccana*) diambil dari industri penggergajian di Sukabumi. Pembuatan media kultivasi jamur dilakukan di PT. Esa Genangku, Sukabumi, Jawa Barat. Limbah padat industri pulp kayu mangium (*Acacia mangium* Willd.) diambil dari PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper (PT. TEL), Muara Enim, Sumatera Selatan. Penelitian dilakukan di

Laboratorium Mikologi Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu serbuk gergaji kayu sengon, dedak, kapur, gipsum, air bersih, kantong plastik PVC, cincin plastik, kapas, jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*), jamur tiram abu-abu (*Pleurotus sajor-caju*) dan jamur lingzhi (*Ganoderma lucidum*), serta limbah padat (*sludge*). Alat yang digunakan selama penelitian antara lain *apparatus burette*, *soxhlet*, *Atomic Absorption Spectrophotometer*, autoklaf, labu Erlenmeyer, pisau, sprayer, dan timbangan.

C. Metode

1. Pembuatan inokulan jamur pelapuk

Media inokulan dibuat dari serbuk gergaji kayu ditambah dedak 10%, CaCO_3 1,5%, gipsum 0,5%, dan air suling secukupnya, diaduk sampai tercampur rata kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca sebanyak 150 gram per botol dan sebagian ke dalam kantong plastik PVC sebanyak 500 gram per kantong. Mulut botol dan kantong ditutup dengan kapas steril, selanjutnya disterilkan dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C , dan tekanan 1,5 atmosfer selama 30 menit. Cara pembuatan inokulan mengacu pada cara pembuatan bibit jamur yang telah dilakukan oleh Suprapti dan Djarwanto (2009). Masing-masing media steril yang telah dingin diinokulasi biakan murni jamur tiram putih (*P. ostreatus*), jamur tiram abu-abu (*P. sajor-caju*) dan jamur lingzhi (*G. lucidum*), dan selanjutnya diinkubasikan di ruangan tertentu pada suhu sekitar 25°C sampai pertumbuhan miseliumnya rata dan menebal, dan inokulan siap digunakan untuk dikultivasi (Suprapti & Djarwanto, 2009).

2. Pembuatan media kultivasi inokulan jamur pelapuk

Media kultivasi dibuat dari campuran serbuk gergaji kayu sengon ditambah dedak 10%, kapur 1%, gipsum 0,4%, dan air bersih. Media yang telah tercampur dimasukkan ke dalam kantong plastik PVC ukuran 18 x 38 cm sebanyak kurang lebih 1,40 kg per kantong. Media disterilkan dengan “*steamer*” selama 10 jam, seperti yang telah dilakukan oleh Djarwanto dan Suprati (2010a).

Pemanenan jamur dilakukan setiap hari setelah tubuh buahnya masak petik. Hasil panen jamur pada masing-masing perlakuan dikumpulkan sampai umur tiga bulan setelah inokulasi. Efisiensi Konversi Biologi (EKB) dihitung berdasarkan bobot jamur segar dibagi bahan media kering dan dinyatakan dalam persen seperti dilaporkan oleh Suprapti dan Djarwanto (2014). Media kultivasi yang telah dipelihara selama tiga bulan ini diinokulasikan pada limbah padat pulp mangium tersebut sebagai jamur aktivator.

3. Inokulasi jamur pada limbah padat pulp mangium

Limbah padat ditimbang lalu dikeringkan dengan oven untuk mengetahui kadar air sebelum perlakuan. Limbah padat tersebut diurai agar tidak bergumpal, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik sebanyak 400 gram per kantong, selanjutnya diinokulasi dengan media kultivasi jamur (inokulan) masing-masing sebanyak 2,5%; 5%, dan 10% dari limbah padat. Inokulan diusahakan masih dalam bentuk gumpalan, dimasukkan ke dalam limbah padat, selanjutnya diinkubasi selama enam bulan. Pada akhir percobaan limbah padat ditimbang untuk diketahui kehilangan beratnya. Penghitungan kehilangan berat mengacu kepada SNI 7207:2014 (Standar Nasional Indonesia (SNI), 2014). Selain itu masing-masing gumpalan inokulan jamur diambil dari limbah padat, ditimbang, lalu dikeringkan dengan oven $103 \pm 2^\circ\text{C}$ untuk mengetahui kadar airnya. Kadar air dihitung berdasarkan selisih berat sebelum dioven (awal) dengan berat kering oven dibagi berat awal dikalikan 100%. Contoh limbah padat pada setiap perlakuan dicampur rata, dan selanjutnya diambil secukupnya untuk analisis kimia. Untuk setiap perlakuan analisis disediakan satu sampel dengan pengukuran duplo.

Analisis kimia contoh uji tersebut dilakukan di Laboratorium Tanah dan Tanaman SEAMEO BIOTROP, Bogor, dan cara penetapannya seperti yang telah dilaporkan oleh Djarwanto (2009). Tingkat degradasi diukur melalui perbandingan analisis kimia (C/N ratio) contoh uji sebelum dan sesudah inkubasi. Rasio atau nisbah C/N ditetapkan menurut Walkey dan Black, sedangkan nitrogen total ditetapkan dengan metode Kjeldahl. Kadar kalsium (Ca), fosfor (P), kalium (K) dan magnesium (Mg) dianalisis menggunakan

Atomic Absorption Spectrophotometer, dan Kapasitas Tukar Kation (KTK) ditetapkan dengan titrimetri.

D. Analisis Data

Data bobot tubuh buah dan nilai Efisiensi Konversi Biologi (EKB) dianalisis menggunakan rancangan acak lengkap (perlakuan jenis jamur) dengan lima kali ulangan, sedangkan data kehilangan berat limbah padat (%) dianalisis menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial 4 x 3 (jenis jamur dan dosis inokulan) dengan lima kali ulangan (Steel & Torrie, 1993) Jika hasil analisis berbeda nyata maka penelaahan dilanjutkan dengan uji beda Tukey.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengamatan pertumbuhan, produktivitas dan nilai efisiensi konversi biologi jamur pada kayu sengon dengan masa kultivasi tiga bulan disajikan pada Tabel 1. Pertumbuhan miselium jamur tiram (*P. ostreatus* dan *P. sajor-caju*) dan lingzhi (*G. lucidum*) pada permukaan media kayu sengon telah merata pada umur empat minggu setelah inokulasi. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan miselium ketiga jenis jamur untuk tumbuh dan menyebar di seluruh permukaan media hampir sama. Namun secara visual penebalan miselium tercepat terjadi pada *P. ostreatus*. Hal ini disebabkan oleh aktivitas enzim lignoselulosik dalam merombak media menjadi sumber makanan hingga siap digunakan energi dalam proses metabolisme, pada kondisi puncak atau paling besar ditandai pertumbuhan, penyebaran dan penebalan miselium secara visual nampak paling cepat. Kemudian diikuti oleh *P. sajor-caju*, dan penebalan yang paling lambat dijumpai pada *G. lucidum*.

Berdasarkan hasil pengamatan, penebalan miselium yang cepat diikuti oleh munculnya calon tubuh buah jamur tersebut. Pada saat pertumbuhan dan perkembangan primordia menjadi tubuh buah siap petik, kebutuhan makanan untuk metabolisme mulai menurun sehingga aktivitas enzim lignoselulosik dalam merombak media berkurang. Oleh karena itu pemanenan jamur *P. ostreatus* terjadi paling awal,

dan pada *G. lucidum* permulaan panennya paling lambat. Pada media bekas pemanenan terjadi luka dan miselium di permukaan media terputus.

Pemulihan luka media pada bekas jamur dipanen memerlukan sumber makanan yang besar sehingga aktivitas enzim lignoselulosik dalam merombak media menjadi sumber energi metabolisme meningkat lagi, yang secara visual nampak terjadi pertumbuhan, penebalan miselium, pertumbuhan primordia lagi di tempat jamur dipetik dan di sekitarnya. Kemudian sampai panen lagi dan seterusnya, rata-rata panen jamur *P. ostreatus* terjadi tiga kali, bobot biomassa jamur dan nilai EKB-nya serta media yang terdegradasi paling tinggi. Sedangkan pemanenan *G. lucidum* baru sekali, bobot jamur, nilai EKB-nya dan media yang terdegradasi paling rendah.

Menurut Xie et al. (2016), aktivitas enzim selulolitik meningkat selama pertumbuhan miselium mencapai 2/3 kantong media dan menurun dengan cepat selama pertumbuhan miselium memenuhi permukaan media. Aktivitas paling tinggi terjadi selama permulaan primordium, menurun drastis selama pembentukan tubuh buah, yang dalam penelitian ini berturut-turut terjadi pada pertumbuhan miselium 60% (sekitar 18 hari), pertumbuhan miselium memenuhi seluruh permukaan media sekitar 27 hari (100%), pembentukan primordia pada hari ke-30 (*P. ostreatus*), hari ke-42 (*P. sajor-caju*), dan hari ke-50 (*G. lucidum*). Aktivitas enzim lignolitik meningkat saat pertumbuhan miselium mencapai 1/3 kantong media (dalam tulisan ini kemungkinan terjadi pada saat pertumbuhan miseliumnya mencapai sekitar 30% yaitu pada hari ke-9 setelah inokulasi), dan aktivitasnya menurun selama pembentukan dan perkembangan tubuh buah jamur. Pertumbuhan miselium dalam penelitian ini mendekati hasil penelitian sebelumnya (Djarwanto & Suprpti, 2010a; Djarwanto, Suprpti, & Ismanto, 2016; Suprpti & Djarwanto, 2009).

Pertumbuhan miselium jamur *P. ostreatus* telah memenuhi permukaan media dan sudah mulai panen jamur pada umur 4 - 5 minggu setelah inokulasi. Pertumbuhan miselium jamur *P. sajor-caju* telah memenuhi permukaan media pada 26,5 - 45 hari (Islam, Rahman, & Hafiz, 2009; Khan et al., 2012) dan 14 hari setelah inokulasi

(Kihumbu, Shitandi, Maina, Khare, & Sharma, 2008).

Permulaan panen jamur *G. lucidum* didapatkan pada 64 hari, *P. ostreatus* terjadi 34 hari, dan *P. sajor-caju* 46 hari setelah inokulasi jamur. Menurut Djarwanto et al. (2016) dan Pathmashini, Arulnandhy, dan Wijeratnam (2008) awal panen jamur tiram berkisar antara 25 - 51 hari (*P. ostreatus*) dan 36 - 61 hari (*P. sajor-caju*) setelah inokulasi bibit. Menurut Shah, Ashraf, dan Ishtiaq (2004), tubuh buah jamur *P. ostreatus* telah dipanen pada hari ke 27-34 setelah inokulasi. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa jenis jamur mempengaruhi bobot tubuh buah dan nilai efisiensi konversi biologinya ($p \leq 0,05$). Analisis sidik ragam tercantum pada Lampiran 1 dan Lampiran 2, kemudian dilanjutkan dengan uji beda Tukey seperti disajikan pada Tabel 1.

Selama tiga bulan sejak inokulasi jamur, panen jamur terbanyak dan nilai EKB tertinggi terjadi pada *P. ostreatus* dari rata-rata panen tiga kali, kemudian diikuti oleh bobot dan nilai EKB jamur *P. sajor-caju*, sedangkan hasil panen terendah didapatkan pada jamur *G. lucidum* (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa selama tiga bulan pemeliharaan, kemampuan jamur dalam mengkonversi media (substrat) menjadi biomassa jamur tertinggi terjadi pada *P. ostreatus*, kemudian *P. sajor-caju* dan kemampuan terendah didapatkan pada *G. lucidum*. Laporan sebelumnya menyatakan bahwa hasil panen dan nilai EKB tertinggi didapatkan pada jamur *P. ostreatus* (Suprapti & Djarwanto, 2014). Nilai EKB tersebut lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yakni nilai EKB *P. ostreatus* sebesar 62,1-64,7% (Shah et al., 2004) dan 59,8% (Narh, Obodai, Baka, & Dzomeku, 2011), sedangkan

menurut Villaceran, Kalaw, Natural, Abella, dan Reyes (2006) nilai EKB *P. sajor-caju* adalah 24%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai EKB bervariasi untuk jenis (spesies), seperti *P. ostreatus* dan *P. sajor-caju* masing-masing nilai EKB-nya 42,33 – 81,2% dan 39,32 – 66,63% (periode lima bulan setelah inokulasi), dan strain jamur berbeda, contoh *G. lucidum* strain HHBI-322, HHBI-328, HHBI-337 nilai EKB-nya masing-masing adalah 6,04 – 7,61%; 4,63 – 4,87%; 6,81 – 7,88%, dan dalam kelompok jenis jamur yang sama (Djarwanto & Suprapti, 2010b; Djarwanto et al., 2016; Suprapti & Djarwanto, 2014).

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa jenis jamur mempengaruhi kehilangan berat limbah padat dan penambahan konsentrasi inokulan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, demikian pula interaksi antar perlakuan tidak nampak perbedaannya ($p \leq 0,05$). Hasil analisis sidik ragamnya disajikan pada Lampiran 3. Data rata-rata kehilangan berat limbah padat dari masing-masing perlakuan tercantum pada Tabel 2. Persentase kehilangan berat limbah padat yang diinokulasi 2,5% hingga 5% jamur *G. lucidum* paling tinggi, kemudian diikuti oleh jamur *P. sajor-caju*. Pada limbah padat yang diinokulasi 10%, kehilangan berat tertinggi terjadi pada *P. sajor caju*, diikuti *G. lucidum*. Kehilangan berat limbah padat terendah didapatkan dari jamur *P. ostreatus*. Pemberian inokulan 10% lebih berdampak terhadap kehilangan berat limbah padat dibandingkan dengan pemberian inokulan 2,5% dan 5%. Rata-rata kehilangan berat limbah padat dengan konsentrasi inokulan jamur 2,5%; 5%, dan 10%; masing-masing adalah 2,56%; 2,91%, dan 3,26%. Pada kontrol (limbah padat tanpa inokulan jamur), kehilangan beratnya paling sedikit (0,89 – 0,99%).

Tabel 1. Rata-rata hasil panen jamur dan nilai Efisiensi Konversi Biologi (EKB)
Table 1. Average yield of mushrooms and its Biological Conversion Efficiency (BCE)

Jenis jamur (Fungal species)	Awal panen (The first harvesting, (hari/ day)	Frekuensi panen (Harvesting frequency, (kali/times)	Bobot jamur (Mushroom weight, g)	Jumlah pileus (Pileus number)	EKB (BCE, %)
<i>Ganodema lucidum</i>	64	1,0	48,34 c	1,0	13,41±0,93 c
<i>Pleurotus ostreatus</i>	34	2,8	198,80 a	14,4	47,11±2,84 a
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	46	2,2	137,20 b	16,2	38,06±3,27 b

Keterangan (Remarks): Angka-angka dalam masing-masing kolom yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Tukey $p \leq 0,05$ (The number within each column followed by the same letter, means non-significantly different, Tukey test $p \leq 0.05$)

Tabel 2. Rata-rata kehilangan berat sludge yang diberi inokulan tiga jenis jamur
Table 2. The average weight loss of sludge inoculated with three fungal species

Jenis jamur (<i>Fungal species</i>)	Konsentrasi inokulan jamur (<i>Concentration of fungal inoculant, %</i>)			Kehilangan berat (<i>Weight loss, %</i>)
	2,5	5,0	10,0	
<i>Ganoderma lucidum</i>	4,05±1,37	3,32±0,43	3,54±1,03	3,64±0,94 a
<i>Pleurotus ostreatus</i>	2,87±0,89	2,34±0,52	3,19±0,48	2,80±0,63 b
<i>P. sajor-caju</i>	3,33±0,97	3,06±0,96	3,83±1,03	3,41±0,98 ab
Kontrol (<i>Control</i>)	0,99±0,31	0,89±0,35	0,99±0,17	0,96±0,28 c

Keterangan (*Remark*): Angka-angka dalam kolom yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Tukey $p \leq 0,05$ (*The number within each colom followed by the same letter, means non-significantly different, Tukey test $p \leq 0.05$*) ± = Standar deviasi (*Standard deviation*)

Hasil uji Tukey ($p \leq 0,05$) menunjukkan kehilangan berat limbah padat yang banyak terjadi oleh aktivitas jamur *G. lucidum* (3,64%) dan *P. sajor-caju* (3,41%). Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas kedua jenis jamur tersebut paling kuat dalam mendegradasi limbah tersebut. Inokulan *G. lucidum* yang ditularkan ke dalam limbah padat terdegradasi paling rendah, sehingga kemungkinan kemampuan untuk tumbuh dan penyebaran miselium paling besar dan aktivitas enzim lignoselulosik dalam mendegradasi limbah padat paling tinggi akibatnya kehilangan berat limbah padat paling besar. Namun secara statistik kehilangan berat limbah padat oleh *P. sajor-caju* tersebut tidak berbeda nyata dengan kehilangan berat oleh *P. ostreatus*. Ini berarti bahwa kemampuan jamur *P. ostreatus* dalam mendegradasi limbah padat tidak berbeda dengan

kemampuan jamur *P. sajor-caju*. Hal ini senada dengan laporan Suprapti (2013) yang menyatakan bahwa kemampuan jamur pangan dalam mendegradasi kayu mangium adalah rendah, yang ditunjukkan dengan kehilangan berat kayunya hanya 3,69% (*P. ostreatus*) dan 3,20% (*P. sajor-caju*). Kehilangan berat kontrol (tanpa inokulan jamur) paling sedikit yakni 0,96%, dibandingkan dengan limbah padat yang diberi inokulan jamur ($p \leq 0,05$).

Rata-rata kadar air inokulan dari media kultivasi jamur disajikan pada Tabel 3. Terjadi penurunan kadar air inokulan di dalam limbah padat pada masa inkubasi enam bulan. Pada kadar air lebih dari 46% ketiga jenis jamur tersebut masih tumbuh, sehingga aktivitas metabolik dan hidrolisis enzimatik masih dapat berlangsung. Semakin besar konsentrasi inokulan cenderung

Tabel 3. Rata-rata kadar air inokulan jamur di dalam limbah padat
Table 3. Average moisture content of fungal inoculants in sludge

Inokulan jamur (<i>Fungal inoculants</i>)	Konsentrasi (<i>Concentration, %</i>)	Kadar air (<i>Moisture content, %</i>)	
		Awal (<i>Initial</i>)	Akhir (<i>Final</i>)
<i>Ganoderma lucidum</i>	2,5	62,72	51,31
	5		50,80
	10		54,73
<i>Pleurotus ostreatus</i>	2,5	57,41	46,94
	5		46,03
	10		47,34
<i>P. sajor-caju</i>	2,5	51,26	52,88
	5		49,94
	10		52,91

Keterangan (*Remark*): Data merupakan rata-rata dari dua ulangan atau duplo (*Data represent the average of two replications*)

semakin tinggi kadar airnya. Kemungkinan pada inokulan yang besar, miselium yang tumbuh lebih banyak dan keadaan lebih lembap. Schmidt (2007) menyatakan bahwa kadar air untuk pertumbuhan jamur berkisar antara 36 – 210%.

Pada Tabel 4 disajikan data kandungan unsur hara limbah padat yang diinokulasi jamur selama enam bulan masa inkubasi. Nisbah C/N limbah padat kontrol (tanpa inokulan) adalah 15,9; masa inkubasi enam bulan menurunkan nilai C/N menjadi 13,1. Djarwanto et al. (2016) dan Komarayati, Gusmailina, dan Djarwanto (2012) menyatakan bahwa penyusutan nilai C/N dipengaruhi oleh lamanya waktu inkubasi, semakin lama waktu inkubasi, semakin besar penyusutannya. Inokulasi jamur ke dalam limbah padat nampak meningkatkan nisbah C/N masing-masing 25 – 33,5 (*G. lucidum*), 23,8 – 27,7 (*P. ostreatus*), dan 20,7 – 30,1 (*P. sajor-caju*). Semakin tinggi konsentrasi inokulan jamur cenderung meningkatkan nilai C/N (*G. lucidum*), dan cenderung menurunkan nilai C/N (*P. ostreatus* dan *P. sajor-caju*). Rata-rata nisbah C/N limbah padat yang diinokulasi jamur tersebut adalah 27,3, terjadi peningkatan sebesar 71,59%. Nisbah C/N limbah padat tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan standar kompos Perhutani dan sampah organik (SNI 19-7030-2004), yaitu 10 – 20 dan pupuk organik dari limbah padat 9 – 20 (Komarayati et al., 2009). Syarat kompos Departemen Pertanian (Surat Keputusan Menteri Pertanian, 2009) berkisar antara 15 – 25 dan kompos Bidlingmaier yakni 12,9 – 24,2 (Djarwanto, 2009). Nilai C/N yang dihasilkan tersebut memenuhi standar kompos Jepang yaitu <35 (Komarayati & Pasaribu, 2005).

Pengaruh inokulasi jamur pada limbah padat yang diinkubasi selama enam bulan cenderung meningkatkan unsur hara tersebut menjadi N 0,52 – 0,69%, P 0,27 – 0,36%, Ca 0,48 – 0,82%, dan Mg 0,21 – 0,35%, dibandingkan dengan limbah padat kontrol yaitu N 0,41%, P 0,15%, Ca 0,51%, Mg 0,23%, dan cenderung menurunkan unsur K 0,49% (tanpa inokulan jamur) menjadi K 0,29 – 0,47% (inokulasi jamur). Rata-rata unsur hara tersebut N 0,62%, P 0,31%, K 0,36%, Mg 0,28%, dan Ca 0,66%, namun jika dibandingkan dengan limbah padat awal maka terjadi penurunan kadar sebesar 48,76% (N), 35,42% (P), 25,0% (K) dan terjadi kenaikan sebesar 112,9% (Ca), dan 6,67% (Mg). Kadar N, P, K limbah padat

tersebut cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan unsur hara pupuk kandang domba, kuda, dan sapi yaitu N 0,3 – 0,6%, P 0,2 – 0,3% dan K 0,2 – 0,3% (Novizan, 2002), namun lebih rendah daripada pupuk organik limbah padat yakni N 0,69 – 1,24%, P 0,58 – 0,65% dan K 0,22 – 1,42% (Komarayati et al., 2008). Kandungan nitrogen limbah padat tersebut termasuk tinggi berdasarkan kriteria Pusat Penelitian Tanah yaitu 0,51 – 0,75% (Novizan, 2002).

Novizan (2002) menyatakan bahwa kandungan unsur hara di dalam kompos sangat bervariasi tergantung jenis bahan baku yang digunakan dan cara pembuatan kompos tersebut yaitu N 0,1 – 0,6%, P 0,1 – 0,4%, Ca 0,8 – 1,5%, dan K 0,8 – 1,5%. Unsur hara limbah padat yang diinokulasi jamur yaitu N umumnya lebih tinggi, P memenuhi, sedangkan Ca dan K lebih rendah dibandingkan dengan unsur hara kompos. Oleh karena itu limbah padat yang diinokulasi jamur tersebut termasuk kelompok “*soil conditioner*”. Berdasarkan informasi Aritonang (Komunikasi pribadi tahun 2006) di PT. TEL, limbah padat tersebut dapat digunakan sebagai media tanam untuk tanaman pertanian, dan limbah padat yang telah dikompos dapat dipakai untuk pupuk tanaman namun masyarakat belum berani mengkonsumsi hasil panen tanaman pertanian tersebut karena mereka menganggap limbah padat berbahaya bagi kesehatan (Suprapti, 2006). Menurut Widyati dan Wahyudi (2011) pemupukan dengan kompos limbah padat dapat meningkatkan produksi tanaman pertanian seperti jagung dan sayur mayur.

Ditunjukkan bahwa nilai pH 5,8 – 7; termasuk netral, sama dengan pH tanah secara umum. Nilai pH tersebut berada di bawah standar kompos Perhutani dan Bidlingmaier yaitu 7,3, namun telah memenuhi standar kompos Jepang yaitu 5,5 – 7,5. Nilai pH ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Komarayati et al. (2009) yaitu 6,8 – 7,15. Pada pH netral tersebut umumnya pertumbuhan tanaman berlangsung baik. Hal itu menunjukkan bahwa dari segi keasaman lingkungan mikro maka limbah padat tersebut cukup aman terhadap akar tanaman. Novizan (2002) menyebutkan bahwa pada pH tanah netral 6 – 7, sebagian besar unsur hara mudah larut dalam air dan mudah diserap oleh akar tanaman.

Tabel 4. Kandungan hara limbah padat yang diinokulasi jamur setelah diinkubasi enam bulan
Table 4. Nutrient content in the sludge inoculated by fungi after being incubated for six months

Parameter (Parameters)	Konsentrasi inokulan jamur (<i>Fungal inoculant</i> concentration, %)	Kontrol (<i>Control</i>)		Jenis jamur (<i>Fungi species</i>)		
		Awal (<i>Initial</i>)	Akhir (<i>Final</i>)	<i>Ganoderma</i> <i>lucidum</i>	<i>Pleurotus</i> <i>ostreatus</i>	<i>Pleurotus</i> <i>sajor-caju</i>
pH H ₂ O (1:1)	2,5	6,9	5,8	6,8	6,7	6,6
Organic C (%)		19,24	5,37	16,47	16,34	18,36
Total N (%)		1,21	0,41	0,66	0,59	0,61
C/N ratio		15,90	13,10	25,0	27,7	30,1
P ₂ O ₅ (%)		0,48	0,15	0,27	0,34	0,29
CaO (%)		0,31	0,51	0,77	0,58	0,82
MgO (%)		0,24	0,23	0,33	0,27	0,35
K ₂ O (%)		0,48	0,50	0,47	0,38	0,36
KTK (CEC, me/100 g)		17,63	18,32	28,14	24,53	31,64
Kadar air (<i>Moisture content</i> , %)		36,20	13,77	32,71	28,57	29,76
Pb (ppm)		0,05	0,02	0,06	0,09	0,08
Cd (ppm)		0,04	0,02	tu	Tu	Tu
Hg (ppb)		0,00	0,00	0,10	0,20	0,10
pH H ₂ O (1:1)	5	7,0	5,8	6,6	6,8	6,5
Organic C (%)		19,35	5,52	18,26	16,19	16,88
Total N (%)		1,26	0,39	0,57	0,61	0,64
C/N ratio		15,36	14,15	32,0	26,5	26,4
P ₂ O ₅ (%)		0,51	0,20	0,31	0,32	0,36
CaO (%)		0,34	0,60	0,61	0,69	0,48
MgO (%)		0,23	0,23	0,28	0,27	0,21
K ₂ O (%)		0,48	0,49	0,36	0,36	0,29
KTK (CEC, me/100 g)		17,75	18,40	26,57	25,38	29,71
Kadar air (<i>Moisture content</i> , %)		38,69	14,20	31,62	31,45	31,63
Pb (ppm)		0,05	0,02	0,09	0,07	0,12
Cd (ppm)		0,04	0,02	tu	0,05	0,06
Hg (ppb)		0,00	0,00	0,10	0,20	0,10
pH H ₂ O (1:1)	10	6,9	5,9	6,3	6,5	6,7
Organic C (%)		19,12	5,66	17,44	15,92	14,27
Total N (%)		1,16	0,47	0,52	0,67	0,69
C/N ratio		16,48	12,04	33,5	23,8	20,7
P ₂ O ₅ (%)		0,46	0,11	0,29	0,32	0,31
CaO (%)		0,26	0,43	0,72	0,77	0,51
MgO (%)		0,24	0,24	0,31	0,33	0,21
K ₂ O (%)		0,49	0,49	0,39	0,35	0,30
KTK (CEC, me/100 g)		17,55	18,25	24,83	27,62	30,55
Kadar air (<i>Moisture content</i> , %)		36,20	13,74	33,18	32,71	38,21
Pb (ppm)		0,05	0,02	0,11	0,12	0,03
Cd (ppm)		0,04	0,02	0,03	0,03	Tu
Hg (ppb)		0,00	0,00	0,10	0,20	0,10

Keterangan (*Remarks*): Tu = Tidak terukur (*not/ un-measurable*), KTK = Kapasitas Tukar Kation (*CEC = Cation Exchange Capacity*)

Nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) limbah padat berkaitan erat dengan kesuburan media tanam untuk pertumbuhan tanaman. Pengaruh inokulasi jamur ke dalam limbah padat cenderung meningkatkan nilai KTK sebesar 56,8%. Rata-rata nilai KTK yang diinokulasi jamur adalah 27,66 (24,53 – 31,64) me/100 g dibandingkan dengan limbah padat yang tidak diinokulasi jamur yaitu 17,63 me/100 g (awal) dan 18,3 me/100 g setelah enam bulan masa inkubasi. Nilai KTK ini mendekati hasil penelitian Komarayati et al. (2009) yakni 25,33 – 35,89 me/100 g. Semakin tinggi konsentrasi inokulan jamur cenderung meningkatkan nilai KTK (*P. ostreatus*) namun cenderung menurunkan nilai KTK pada *G. lucidum* dan *P. sajor-caju*. Nilai KTK tersebut memenuhi persyaratan kompos WHO yaitu >20 me/100 g (Komarayati & Pasaribu, 2005), dan termasuk kriteria tinggi (25 – 40 me/100 g) menurut Pusat Penelitian Tanah (Novizan, 2002). Nilai KTK yang tinggi tersebut dapat meningkatkan daya serap, daya simpan, dan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan tanaman.

Kandungan logam berat antara lain Pb, Hg, dan Cd umumnya sangat rendah sehingga kadarnya sering tidak terukur, yang berarti aman terhadap lingkungan. Oleh karena itu sayuran/tanaman pangan yang ditanam pada limbah padat dari limbah industri pulp dan kertas aman dikonsumsi. Menurut Komarayati et al. (2009), kadar Pb dan Cd pada pupuk organik limbah padat rendah masing-masing yaitu 0,03 – 0,08 ppm dan 0,01 – 0,03 ppm. Kandungan logam tersebut di bawah kandungan logam kompos menurut Bidlingmaier yaitu Pb 513 (250 – 1.350) mg/kg, Hg 2,4 (0,4 – 9) mg/kg, dan Cd 5,5 (1,9 – 12) mg/kg (Djarwanto, 2009).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah tiga bulan pemeliharaan media kultivasi kayu sengan, nilai efisiensi konversi biologi (EKB) yang diperoleh yaitu 47,11 % (*P. ostreatus*), 38,06% (*P. sajor-caju*), dan 13,41% (*G. lucidum*). Nilai C/N limbah padat awal 15,9, setelah masa inkubasi 6 bulan, nilai C/N menjadi 13,1 (kontrol), 25 – 33,5 (*G. lucidum*), 23,8 – 27,7 (*P. ostreatus*), dan 20,7 – 30,1 (*P. sajor-caju*). Inokulasi jamur ke dalam limbah padat nampak

meningkatkan nisbah C/N, dan semakin tinggi konsentrasi inokulan cenderung meningkatkan nilai C/N (*G. lucidum*), namun cenderung menurunkan nilai C/N pada *P. ostreatus* dan *P. sajor-caju*. Pengaruh inokulasi jamur pada limbah padat yang diinkubasi selama enam bulan cenderung meningkatkan unsur hara tersebut menjadi N 0,52 – 0,69%, P 0,27 – 0,36%, Ca 0,48 – 0,82%, dan Mg 0,21 – 0,35%, dan cenderung menurunkan unsur K menjadi 0,29 – 0,47% (inokulasi jamur) dibandingkan dengan limbah padat kontrol (tanpa inokulan jamur). Kandungan logam beratnya yaitu Pb, Hg, dan Cd umumnya rendah. Setelah limbah padat diinkubasi selama enam bulan nilai KTK-nya meningkat menjadi 18,3 me/100 g (kontrol), 25,8 – 28,1 me/100 g (*G. lucidum*), 24,5 – 27,6 me/100 g (*P. ostreatus*), 29,7 – 31,64 me/100 g (*P. sajor-caju*). Semakin tinggi konsentrasi inokulan jamur cenderung meningkatkan nilai KTK (*P. ostreatus*) dan cenderung menurun pada *G. lucidum* dan *P. sajor-caju*. Nilai KTK tersebut telah memenuhi standar kompos yaitu > 20 me/100 g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper, Muara Enim, Sumatera Selatan dan PT. Esa Genangku, Sukabumi, yang telah membantu pengambilan bahan dan pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, R., & Indrawan, D.A. (2009). Upaya pengelolaan limbah industri PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper. Dalam A.P. Tampubolon, S. Abdurrochim, Barly, G. Pari, & Suhariyanto (Eds.), *Prosiding Seminar Teknologi Pemanfaatan Limbah Industri Pulp dan Kertas untuk Mengurangi Beban Lingkungan* (pp. 7-17). Bogor.
- Chang, S.T., & Miles, P.G. (2004). *Mushrooms - cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. (2nd Ed.). USA: CRC Press.
- Djarwanto. (2009). Studi pemanfaatan tiga jenis fungi pada pelapukan daun dan ranting

- mangium di tempat terbuka. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27(4), 314-322.
- Djarwanto & Suprapti, S. (2010a). Pengaruh sumber bibit terhadap pertumbuhan jamur tiram. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(2), 156-168.
- Djarwanto & Suprapti, S. (2010b). Pertumbuhan dan nilai gizi *Ganoderma lucidum* pada media limbah mangium. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(1), 9-17.
- Djarwanto, Suprapti, S., & Ismanto, A. (2016). Biokonversi serbuk gergaji kayu hutan tanaman sebagai media jamur pangan *Pleurotus* spp. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(4), 285-296. doi: 10.20886/jphh.2016.34.4
- Gregori, A., Švagelj, M., & Pohleven, J. (2007). Cultivation techniques and medicinal properties of *Pleurotus* spp. *Food Technology and Biotechnology*, 45(3), 238-249.
- Gusmailina & Komarayati, S. (2009). Teknologi inovasi penanganan limbah industri pulp dan kertas menjadi arang kompos bioaktif. Dalam A.P. Tampubolon, S. Abdurrochim, Barly, G. Pari, & Suhariyanto (Eds.), *Prosiding Pemanfaatan Limbah Industri Pulp dan Kertas untuk Mengurangi Beban Lingkungan* (pp. 18-30). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Islam, M.Z., Rahman, M.H., & Hafiz, F. (2009). Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus flabellatus*) on different substrates. *International Journal Sustainable Crop Production*, 4(1), 45-48.
- Khan, N.A., Ajmal, M., Inam Ul Haq, M., Javed, N., Asif Ali, M., Binyamin, R., & Khan, S. A. (2012). Impact of sawdust using various woods for effective cultivation of oyster mushroom. *Pakistan Journal of Botany*, 44(1), 399-402.
- Kihumbu, A.G., Shitandi, A.A., Maina, M., Khare, K.B., & Sharma, H.K. (2008). Nutritional composition of *Pleurotus sajor-caju* grown on water hyacinth, wheat straw and corncob substrates. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(4), 321-326.
- Komarayati, S., Gusmailina, & Djarwanto. (2012). Pemanfaatan sisa media tumbuh jamur tiram untuk arang kompos. Dalam J. Sulistyono, R. Widyorini, G. Lukmandaru, M. N. Rofii, & V.E. Prasetyo (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XIV* (pp. 889-894). Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia, Yogyakarta.
- Komarayati, S., & Pasaribu, R.A. (2005). Pembuatan pupuk organik dari limbah padat industri kertas. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23(1), 35-41.
- Komarayati, S., Pasaribu, R.A., & Roliadi, H. (2009). Teknologi dan kelayakan finansial pemanfaatan limbah industri pulp dan kertas. Dalam A.P. Tampubolon, S. Abdurrochim, Barly, G. Pari, & Suhariyanto (Eds.), *Prosiding Seminar Teknologi Pemanfaatan Limbah Industri Pulp dan Kertas untuk Mengurangi Beban Lingkungan Industri Pulp dan Kertas* (pp. 81-92). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Mtui, G.Y.S. (2012). Lignocellulosic enzymes from tropical fungi: Types, substrates and applications. *Scientific Research and Essays*, 7(15), 1544-1555. doi: 10.5897/SRE11.1812
- Narh, D.L., Obodai, M., Baka, D., & Dzomeku, M. (2011). The efficiency of sorghum and millet grains in spawn production and carpophore formation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kummer. *International Food Research Journal*, 18(3), 1143-1148.
- Novizan. (2002). *Petunjuk pemupukan yang efektif*. (Cetakan 1). L.A. Marianto (Ed.) Depok: PT. Agro Media Pustaka.
- Patel, Y., Naraian, R., & Singh, V.K. (2012). Medicinal properties of *Pleurotus* species (oyster mushroom): A review. *World Journal of Fungal and Plant Biology*, 3(1), 1-12. doi: 10.5829/idosi.wjfpb.2012.3.1.303.
- Paterson, R.R.M. (2006). *Ganoderma - A therapeutic fungal biofactory*. *Phytochemistry*, 67, 1985-2001. doi: 10.1016/j.phytochem.2006.07.004.
- Pathmashini, L., Arulnandhy, V., & Wijeratnam, R.S.W. (2008). Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on sawdust. *Ceylon Journal of Science (Biological Science)*, 37(2), 177-182.

- Prayitno, & Sukosrono. (2007). Reduksi limbah padat dengan sistem pembakaran dalam tungku bakar. Dalam *Prosiding PPI-PDIPTN 2007* (pp. 61-68). Pusat Akselerator dan Proses Bahan-Batan, Yogyakarta.
- Purwati, S., Soetopo, R.S., & Setiawan, Y. (2006). Potensi dan alternatif pemanfaatan limbah padat industri pulp dan kertas. *Berita Selulosa*, 41(2), 68-79.
- Schmidt, O. (2007). *Indoor wood-decay Basidiomycetes: Damage, causal fungi, physiology, identification and characterization, prevention and control*. German: German Mycological Society and Springer.
- Shah, Z., Ashraf, M., & Ishtiaq Ch.M. (2004). Comparative study on cultivation and yield performance of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on different substrates (wheat straw, leaves, saw dust). *Pakistan Journal of Nutrition*, 3(3), 158-160. doi: 10.3923/pjn.2004.158.160.
- Sinuhaji, F. (2008). Pemanfaatan limbah padat pulp (*sludge*) dengan serat pelepah batang pisang menjadi tatakan telur. *Jurnal Penelitian MIPA*, 2(1), 25-27.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2014). *Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik* (SNI 19-7030-2004). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2014). *Uji ketahanan kayu terhadap organisme perusak kayu* (SNI 7207-2014). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Steel, R.G.D., & Torrie, J.H. (1993). *Prinsip dan prosedur statistika suatu pendekatan biometrik*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Suprapti, S. (2006). Laporan perjalanan di PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper. Tidak dipublikasikan
- Suprapti, S. (2013). Pengelolaan jamur perusak kayu untuk mendukung pelestarian dan pemanfaatan sumber daya hutan. Dalam H. R. Sudradjat, Dulsalam, G. Pari, & A. Santoso (Eds.), *Himpunan Bunga Rampai Orasi Ilmiah Abi Peneliti Utama* (pp. 1-42). Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor.
- Suprapti, S., & Djarwanto. (2009). *Pedoman budidaya jamur shiitake dan jamur tiram*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Suprapti, S., & Djarwanto. (2014). Produktivitas jamur *Pleurotus* spp. pada kompos serbuk gergaji kayu *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Dalam W. Suwinarti, I.W. Kusuma, Erwin, & Ismail (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional XVI Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI): Pemanfaatan Sumberdaya Alam Terbarukan* (pp. 278-283). Balikpapan, Kalimantan Timur: Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia.
- Surat Keputusan Menteri Pertanian (2009). *Persyaratan teknis minimal pupuk organik* (SK Mentan No. 28/Permentan/SR.130/5/2009).
- Xie, C., Yan, L., Gong, W., Zhu, Z., Tan, S., Chen, D., Hu, Z., & Peng, Y. (2016). Effects of different substrates on lignocellulosic enzyme expression, enzyme activity, substrate utilization and biological efficiency of *Pleurotus eryngii*. *Physiology and Biochemistry*, 39, 1479-1494.
- Villaceran, A.B., Kalaw, S.P., Natural, P.S., Abella, E.A., & Reyes, R.G. (2006). Cultivation of Thai and Japanese strains of *Pleurotus sajor-caju* on rice-straw-based *Volvariella volvacea* mushroom spent and composted rice straw in central Luzon Region, Philippines. *Journal of Agricultural Technology*, 2(1), 69-75.
- Wang, H., & Ng, T.B. (2006). Ganodermin, an antifungal protein from fruiting bodies of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum*. *Peptides*, 27(1), 27-30. doi: 10.1016/j.peptides.2005.06.009.
- Widyati, E., & Wahyudi, A. (2011). *Dari hutan kembali ke hutan sludge industri kertas memperbaiki produktivitas tanah pertanian, kebutuhan dan pertambangan*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Peningkatan Produktivitas Hutan.
- Yuzelma, Ahmad, A., & Nofrizal. (2013). Kajian toksisitas limbah *biosludge* yang berasal dari ipal industri pulp dan kertas dengan metode toxicity characteristic leaching procedure. *Jurnal Lingkungan*, 7(1), 60-67.

Lampiran 1. Analisis sidik ragam pengaruh jenis jamur terhadap bobot tubuh buah
Appendix 1. Analysis of variance the influence of fungi species to mushroom weight

Sumber variasi (<i>Source of varians</i>)	Derajat bebas (<i>Degree of freedom</i>)	Jumlah kuadrat (<i>Sum of square</i>)	Kuadrat tengah (<i>Mean square</i>)	F hit. (<i>F. Calc.</i>)
Perlakuan (<i>Main Effects</i>)	1			
Jenis jamur (<i>Fungi species</i>)	2	57214,42	28607,21	291,3086 **
Galat (<i>Error</i>)	12	1178,429	98,20242	
Total	15			

Keterangan (*Remarks*): ** = berbeda sangat nyata (*Highly significant differences*)

Lampiran 2. Analisis sidik ragam pengaruh jenis jamur terhadap nilai efisiensi konversi biologi

Appendix 2. Analysis of variance the influence of fungi species to biological conversion efficiency value

Sumber variasi (<i>Source of varians</i>)	Derajat bebas (<i>Degree of freedom</i>)	Jumlah kuadrat (<i>Sum of square</i>)	Kuadrat tengah (<i>Mean square</i>)	F hit. (<i>F. Calc.</i>)
Perlakuan (<i>Main Effects</i>)	1			
Jenis jamur (<i>Fungi species</i>)	2	3042,414	1521,207	232,1648 **
Galat (<i>Error</i>)	12	78,62728	6,552273	
Total	15			

Keterangan (*Remarks*): ** = berbeda sangat nyata (*Highly significant differences*)

Lampiran 3. Analisis sidik ragam pengaruh jenis jamur terhadap pengurangan berat limbah padat

Appendix 3. Analysis of variance the influence of fungi species to weight loss of sludge

Sumber variasi (<i>Source of varians</i>)	Derajat bebas (<i>Degree of freedom</i>)	Jumlah kuadrat (<i>Sum of square</i>)	Kuadrat tengah (<i>Mean square</i>)	F
Perlakuan (<i>Main Effects</i>)				
Jenis jamur (<i>Fungi species</i>)	3	66,44462	22,14821	35,08
Konsentrasi inokulan (A) (<i>Inoculant concentration</i>), B	2	2,66569	1,33285	2,11
Interaksi (<i>Interaction</i>), AB	6	2,01023	0,35038	0,56
Galat (<i>Error</i>)	48	30,30148	0,63128	
Total (<i>Corrected total</i>)	59	101,51409		