

EFEKTIVITAS PROSES PENGOMPOSAN LIMBAH *SLUDGE* IPAL INDUSTRI KERTAS DENGAN JAMUR

Rina S. Soetopo*; Endang RCC
* Balai Besar pulp dan Kertas, Bandung.
rnsoetopo@yahoo.com

THE EFFECTIVITY OF PAPER MILL SLUDGE COMPOSTING BY FUNGI

ABSTRACT

*Utilization of paper mill sludge from waste water treatment plant for compost have been proven able to improve the quality of land and crop productivity and also uncontaminate the environment. But to produce the compost on a large scale, industry still not yet implemented it because composting process can take time up to 3 month. Composting of paper mill sludge by fungi *Phanerochaeta chrysosporium*, *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma reesei* have been done at Laboratory scale. The results showed that composting of paper mill sludge by fungi *Trichoderma harzianum* have the highest cellulose degradation. Composting process for 28 day, can reach the quality standard of compost.*

Keywords: fungi, sludge, cellulose, compost

INTI SARI

Pemanfaatan limbah *sludge* IPAL industri kertas untuk kompos, telah terbukti berpotensi dalam meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman serta tidak mencemari lingkungan. Namun untuk memproduksi kompos dari limbah *sludge* secara besar-besaran masih belum dapat diimplementasikan oleh industri, karena proses pengomposan yang memerlukan waktu yang cukup lama sampai sekitar 3 bulan. Pengomposan limbah *sludge* IPAL industri kertas dengan jamur *Phanerochaete chrysosporium*, *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma reesei* telah dilakukan pada skala Laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jamur *Trichoderma harzianum* dapat mendegradasi selulosa tertinggi (60,2%) dalam pengomposan limbah *sludge* industri kertas.

Kata kunci : jamur, *sludge*, selulosa, kompos

PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah *sludge* IPAL sebagai kompos merupakan salah satu alternatif yang telah banyak dikembangkan oleh industri kertas. Kompos yang dihasilkan dari *sludge* telah terbukti berpotensi dalam meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman. Disamping itu kompos juga tidak mencemari lingkungan sepanjang kondisi dan penggunaannya dilakukan secara proporsional. Namun permasalahan dan kendala yang dihadapi adalah proses pengomposan yang memerlukan waktu cukup lama yaitu sekitar tiga bulan sehingga memerlukan lahan yang cukup luas untuk dapat mengomposkan *sludge* dalam jumlah besar secara kontinyu. Untuk itu perlu dikembangkan proses pengomposan *sludge* yang efektif dalam waktu yang lebih singkat.

Salah satu penyebab lamanya proses pengomposan limbah *sludge* IPAL industri kertas adalah banyaknya kandungan senyawa organik kompleks dalam limbah tersebut yang terbesar adalah selulosa. Atas dasar hal tersebut, diperlukan mikroorganisme yang spesifik berperan sebagai pendegradasi selulosa dalam proses pengomposannya. Di alam, mikroorganisme pendegradasi selulosa termasuk ke dalam mikroorganisme kosmopolitan yang tersebar luas di tanah dan air sebagai dekomposer sisa-sisa tumbuhan yang sudah mati (Hogg, 2005). Peranan penting dari mikroorganisme selulolitik adalah kemampuannya dalam proses mineralisasi unsur karbon dalam tanah (Sclegel, 1994). Mikro-organisme selulolitik menghasilkan selulase. Selulase merupakan enzim yang dapat memutuskan ikatan glukosida β -1,4 di dalam selulosa. Enzim ini terdiri dari tiga komponen yaitu selubiohid-

rolase (CBH), endoglukanase, dan β -glukosidase yang bekerja secara sinergis memecah selulosa. Mikroorganisme yang mampu menghasilkan ketiga komponen selulase tersebut di antaranya adalah jamur *Trichoderma*.

Jamur dari genus *Trichoderma* ini banyak tersebar luas di alam. Genus ini dikenal sebagai penghasil enzim hidrolitik, selulase, pektinase dan xilanase yang mampu mendegradasi polisakarida kompleks seperti selulosa, pektin, hemiselulosa dan xilan. Sudah banyak jamur dari genus ini digunakan untuk kepentingan industri dan pertanian, diantaranya adalah *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma reesei* yang merupakan jamur selulolitik yang mampu mensekresikan selulase dan hemiselulase yang cukup besar, sedangkan sintesis selulase akan meningkat pada serat selulosa yang dapat larut seperti CMC dan selubiosa (Martina, 2002).

Selain jamur dari genus *Trichoderma*, terdapat juga jamur lain yang memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa-senyawa organik yang terdapat dalam limbah. Jamur-jamur dari kelas Basidiomycetes merupakan kelompok utama pendegradasi lignoselulosa. Salah satu jamur yang memiliki kemampuan mendegradasi lignin adalah *Phanerochaete chrysosporium*. Selain memiliki kemampuan mendegradasi lignin, jamur ini dapat pula mendegradasi komponen lain dari dinding sel tanaman yakni selulosa dan hemiselulosa (Wymelenberg, 2006). Jamur-jamur pendegradasi lignin dan selulosa tersebut diharapkan dapat dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif dalam mempercepat proses pengomposan *sludge* IPAL industri pulp dan kertas.

Tulisan ini menyampaikan hasil penelitian tentang efektivitas jamur selulolitik (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma reesei*) dan lignoselulolitik (*Phanerochaete chrysosporium*) dalam mendegradasi selulosa untuk mempercepat proses pengomposan limbah *sludge* IPAL industri kertas.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

Limbah *sludge* IPAL industri kertas digunakan sebagai objek penelitian yang diperoleh dari industri kertas yang memproduksi kertas koran di daerah Jawa timur. Serbuk gergaji dan dedak digunakan sebagai bahan

pencampur limbah *sludge*. Inokulum jamur selulolitik dan lignoselulolitik yang digunakan adalah *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma reesei*, dan *Phanerochaete chrysosporium*. Medium PDA (*Potato Dextrose Agar*) digunakan untuk pertumbuhan jamur, sedangkan medium PDB (*Potato Dextrose Broth*) untuk perbanyakan jamur. Larutan fisiologis NaCl 0.85 % digunakan sebagai larutan pengencer dalam penghitungan jumlah koloni jamur. Peralatan yang digunakan adalah *autoclave*, *water bath shaker*, inkubator. Semua kegiatan inokulasi jamur dilakukan dalam *laminar flow cabinet*.

Metoda

Penelitian dilakukan dalam 2 tahap yaitu percobaan pendahuluan yang terdiri dari percobaan adaptasi kultur jamur pada media limbah *sludge* dan seleksi jenis jamur untuk inokulum pada proses pengomposan limbah *sludge*. Tahap kedua yaitu percobaan proses pengomposan dengan menggunakan satu jenis jamur yang terseleksi pada percobaan pendahuluan. Uraian dari tahap-tahap percobaan tersebut adalah sebagai berikut :

a. Percobaan Pendahuluan

Adaptasinya Jamur terhadap Limbah *sludge*

Adaptasi pertumbuhan jamur *T. Harzianum*, *T. reesei* dan *P. chrysosporium* dilakukan pada medium steril PDB yang telah ditambah suspensi limbah 1% dan 4 %. Inkubasi dilakukan pada *water bath shaker* suhu $28 \pm 1^\circ\text{C}$ dengan putaran 85 rpm. Pengamatan secara visual dilakukan terhadap pertumbuhan miselium selama 7 hari, sedangkan secara kuantitatif dilakukan penimbangan biomasa jamur melalui analisa *Mixed Liquor Total Solids* (MLTS) dan perhitungan jumlah koloni jamur dimulai pada hari ke 3 (72 jam). Metoda analisa MLTS dilakukan menurut APHA, 2005, sedangkan perhitungan jumlah koloni jamur dilakukan menurut Cappucino, 2001.

Seleksi jenis jamur

Seleksi jenis jamur dilakukan dengan cara uji biodegradasi selulosa oleh mikroorganisme, yang prinsip pelaksanaannya mengacu pada OECD 301-1992. Limbah *sludge* sebanyak 3 kg ditambah serbuk kayu (0,4% berat atau 10% volume), dedak (0,3%), dan urea. Penambahan urea diperhitungkan untuk mencapai C/N ratio

limbah 30. Kemudian medium campuran diatur pada pH 5 dengan H₂SO₄ encer. Campuran tersebut diaduk sampai homogen kemudian dimasukkan ke dalam botol-botol ukuran 200 mL dan disterilkan. Setelah dingin, medium dalam botol tersebut diinokulasi dengan masing-masing suspensi jamur sebanyak 5%, kemudian diinkubasi pada suhu 28 ± 1°C (TAPPI 487 pm-99) selama 28 hari (OECD 301-1992). Selain itu disiapkan juga perlakuan kontrol yaitu medium tanpa diberi inokulum jamur. Masing-masing perlakuan disiapkan 3 replikasi. Pengamatan dilakukan terhadap reduksi kadar selulosa. Analisa selulosa dilakukan pada awal percobaan dan setiap 7 hari sekali dengan metoda SNI 14-0444-1989 Cara Uji Kadar Selulosa.

b. Proses Pengomposan Limbah Sludge

Pembuatan bibit jamur

Jenis jamur yang dibuat bibit adalah jamur yang terpilih pada tahap seleksi jamur pada percobaan pendahuluan. Formulasi medium dan tata cara pembuatan bibit jamur sama seperti pada persiapan uji biodegradasi pada tahap seleksi jamur, hanya inokulasi dilakukan dengan jamur terpilih saja dan inkubasi dilakukan pada suhu 28 ± 1°C selama 14 hari atau sampai medium limbah dalam botol terselubungi dengan miselium jamur.

Percobaan Pengomposan Limbah Sludge

Percobaan dilakukan pada skala Laboratorium dalam beberapa box berukuran 80 cm x 60 cm x 40 cm. Percobaan dirancang dengan satu variabel perlakuan inokulum mikroba yang terdiri dari 4 variasi yaitu: 1) inokulum jamur terseleksi dari percobaan pendahuluan 2) inokulum suspensi mikroba heterogen dari kotoran sapi, 3) campuran inokulum jamur terseleksi dan suspensi mikroba heterogen dari kotoran sapi serta 4) perlakuan kontrol tanpa penambahan inokulum.

Formulasi komposisi medium, jumlah inokulum, suhu dan lamanya inkubasi sama dengan pada tahap seleksi jenis jamur pada percobaan pendahuluan, hanya berbeda pada jumlah medium per perlakuan dan jenis mikroba. Jumlah medium per perlakuan 20 kg yang ditempatkan dalam box berukuran 80 cm x 60 cm x 40 cm. Jenis jamur yang ditambahkan pada percobaan ini hanya satu jenis yaitu yang memiliki persentase reduksi selulosa tertinggi dari hasil percobaan pendahuluan. Kadar air

medium diatur pada kisaran 50-60% dan pH 5. Pengaturan pH dilakukan dengan asam sulfat encer.

Campuran medium ditutup plastik untuk di inkubasi selama 28 hari pada ruang kondisi 28 ± 1°C. Pembalikan tumpukan dilakukan secara periodik untuk mempertahankan kondisi aerobik. Pengamatan dilakukan terhadap perubahan suhu dan pH tumpukan dengan frekwensi pengukuran 7 hari sekali. Analisa selulosa dilakukan pada akhir pengomposan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Sludge IPAL

Hasil analisa potensi limbah *sludge* IPAL industri kertas sebagai kompos dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Analisis Potensi Limbah *Sludge*

Parameter	Unit Satuan	Hasil uji
pH	-	7,20 - 7,32
Selulosa total	%	60,3
Karbon total	%	24,15 - 28,49
Nitrogen (N)	%	0,24 - 0,31
Posfor (P)	%	0,05 - 0,65
Kalium (K)	%	0,17 - 0,77
Kalsium (CaO)	%	14,34 - 16,18
Kadar air	%	72 - 76

Data menunjukkan bahwa pH limbah *sludge* IPAL sekitar 7,20 - 7,32 yang telah terkondisi dari sistem pengolahan air limbah industri kertas yang umumnya beroperasi pada kisaran pH netral. Limbah *sludge* IPAL yang dihasilkan industri kertas memiliki kadar karbon total (24,15 - 28,49%). Menurut SNI-2004, persyaratan kadar karbon total dalam kompos adalah 9,8 - 32%, namun karena kadar selulosa (60,3%) yang masih sangat tinggi menyebabkan limbah *sludge* belum dapat dimanfaatkan langsung untuk diaplikasikan ke tanah maupun sebagai kompos tanaman.

Selulosa dalam limbah *sludge* berasal dari bahan baku kertas bekas yang lolos dari proses dan keluar bersama-sama air limbah. Secara fisik, selulosa berupa serat yang sangat halus yang sudah tidak dapat didaur ulang kembali. Berdasarkan kandungan karbon total, pH dan unsur-unsur hara makro lainnya menunjukkan adanya potensi dalam limbah *sludge* untuk

dimanfaatkan sebagai kompos, namun untuk pemanfaatannya perlu diproses lebih lanjut melalui proses pengomposan untuk mereduksi kadar selulosa.

Selain mengandung unsur-unsur hara yang berpotensi untuk kompos, *sludge* IPAL industri kertas mengandung zat pencemar yang perlu dipertimbangkan dalam pemanfaatannya yaitu logam berat. Mengingat bahwa sifat logam berat tidak terdegradasi dalam proses pengomposan, maka kandungan logam-logam dalam limbah harus dikontrol dan tidak boleh melebihi ambang batas dari peraturan yang berlaku. Hasil analisis logam berat yang terkandung dalam *sludge* IPAL dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Analisa Logam Total pada *Sludge*

Parameter	Hasil analisis, mg/kg	SNI ¹⁾
Arsen (As)	0,63	13
Kadmium (Cd)	0,01	3
Khromium (Cr)	0,66	210
Tembaga (Cu)	33,8	100
Timbal (Pb)	4,15	150
Merkuri (Hg)	< 0,06	0,8
Nikel (Ni)	4,58	62
Seng (Zn)	82,0	500

¹⁾ SNI 19-7030-2004; *Spesifikasi kompos*

Limbah ini berasal dari pabrik yang memproduksi kertas koran dari bahan baku kertas bekas. Logam berat yang terkandung dalam limbah *sludge* berasal dari tinta yang terlepas dari bahan baku kertas bekas saat proses penghilangan tinta (*deinking*). Logam berat yang menunjukkan konsentrasi yang paling tinggi adalah Cu dan Zn. Namun demikian, bila dibandingkan dengan persyaratan kompos (SNI-2004), konsentrasi semua logam berat tersebut menunjukkan nilai yang jauh lebih rendah.

Atas dasar hal tersebut, maka dapat dipastikan bahwa logam berat yang terkandung dalam limbah *sludge* ini, tidak akan mengganggu pertumbuhan dan perkembangbiakan jamur yang digunakan dalam percobaan ini

Adaptasi Jamur terhadap Limbah *Sludge*

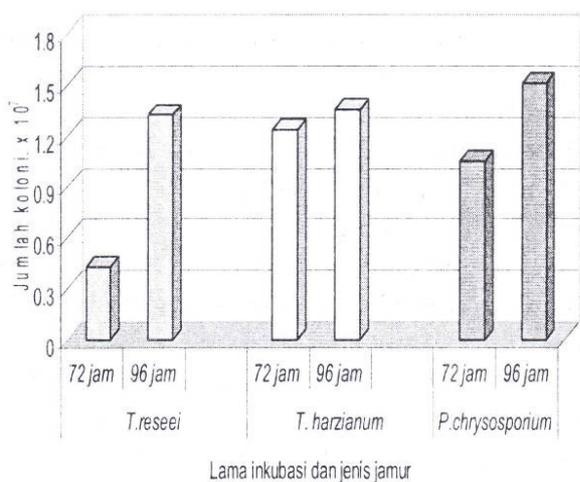
Pengamatan secara visual, pertumbuhan miselium jamur *P. chrysosporium* pada medium yang ditambah suspensi limbah *sludge* 4% lebih banyak dibanding pada medium yang ditambah 1%. Pertumbuhan miselium yang pesat tersebut,

tampak juga pada jamur *T. reesei* dan *T. harzianum* pada medium yang ditambah suspensi limbah *sludge* 4%. Hal tersebut, tampak dari kerapatan miselium yang membentuk pelet yang lebih kompak dan mediumnya lebih keruh. Pada pengamatan visual, tampak masing-masing kultur jamur tumbuh sesuai dengan karakteristiknya. Miselium jamur yang terbentuk merupakan biomasa hifa sampai terbentuk filamen. Hifa-hifa membentuk suspensi yang homogen dan tersebar di dalam medium. Miselium tumbuh makin banyak dan membentuk pelet-pelet, sesuai sifat dari masing-masing spesies, galur jamur, banyaknya inokulum, medium pertumbuhan dan lingkungan fisik dalam botol kulturnya (Sastramiharja, 1989). Miselium *P. chrysosporium* membentuk pelet (bola-bola kecil) berwarna putih. *T. reesei* membentuk pelet sangat kecil-kecil berwarna kuning dan *T. harzianum* juga membentuk pelet kecil-kecil berwarna putih agak coklat.

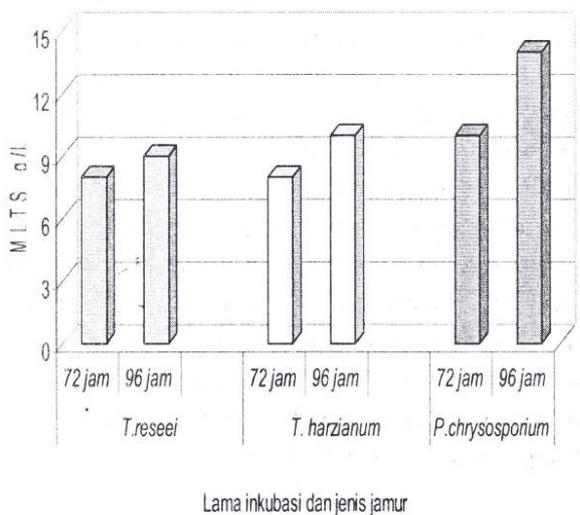
Kultur jamur *T. Reesei* berwarna kuning dan mediumnya juga berubah warna menjadi kuning. Perubahan warna ini, menunjukkan bahwa kultur jamur *T. reesei* menghasilkan metabolit berwarna kuning. Warna kuning tersebut merupakan eksresi zat warna atau pigmentasi sel ke dalam medium. Kemampuan jamur mengekskresikan zat warna, merupakan kemampuan secara genetik sehingga merupakan penanda khusus yang mudah dikenal (Schlegel, 1994). Sedangkan medium kultur jamur *T. harzianum* dan *T. reesei* tidak mengalami perubahan warna, yang artinya jamur-jamur tersebut tidak menghasilkan metabolit berwarna. Keberadaan suatu substrat dapat memacu suatu mikroorganisme untuk mensekresikan metabolit selnya (Hurst, 2002). Jumlah koloni jamur setelah inkubasi 3 hari (72 jam) dan 4 hari (96 jam) dapat dilihat pada Gambar 1.

Setelah inkubasi 72 jam, pertambahan jumlah koloni jamur *T. harzianum* menunjukkan yang tertinggi, namun setelah inkubasi 96 jam, pertambahan jumlah koloni *P. chrysosporium* yang menunjukkan tertinggi. Kultur jamur-jamur tersebut mampu beradaptasi dengan limbah *sludge*. Demikian pula halnya dengan biomasa jamur (MLTS) yang menunjukkan adanya peningkatan sejalan dengan makin lamanya inkubasi (Gambar 2.). Biomasa jamur *P. chrysosporium* menunjukkan yang tertinggi. Adanya perbedaan kecepatan pertumbuhan antara ke 3 jamur tersebut merupakan cerminan dari kemampuan masing-masing jamur

dalam beradaptasi dengan komponen-komponen yang terdapat dalam limbah *sludge*. Pada percobaan ini, kultur jamur dikondisikan pada lingkungan yang sama yaitu suhu $28 \pm 1^\circ\text{C}$ dan pH 5. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Martina *et al.* (2002), kondisi optimum *P. chrysosporium* dalam mendegradasi selulosa adalah pada pH 5. Sedangkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wiater *et al.* (2004), kondisi optimum *Trichoderma* pada kisaran pH 4,5 – 6,0. Walaupun ada perbedaan, namun pertumbuhan dari ke 3 jenis jamur ini menunjukkan adanya peningkatan biomassa dan jumlah koloni yang cukup tinggi. Hal ini dapat diartikan bahwa limbah *sludge* dapat dimanfaatkan sebagai medium pertumbuhan jamur



Gambar 1. Jumlah koloni jamur

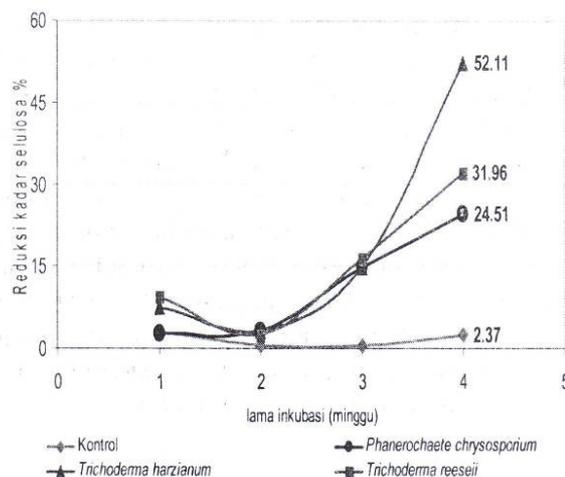


Gambar 2. Biomasa

Seleksi Jenis Jamur

Ketiga jenis jamur yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jamur selulolitik (*T. harzianum*; *T. Reesei* dan lignoselulolitik (*P. Chrysosporium*). Kemampuan masing-masing jamur dalam mendegradasi selulosa yang terkandung dalam limbah *sludge*, dapat diketahui dari persentase reduksi selulosa total per satuan waktu. Pertumbuhan ke 3 jenis jamur pada medium limbah *sludge* menunjukkan pertumbuhan yang baik, hal tersebut tampak dari banyaknya pertumbuhan miselium yang meliputi hampir seluruh permukaan medium. Dengan bertambahnya waktu inkubasi, miselium makin tebal. Data persentase reduksi selulosa total pada limbah *sludge* dari masing-masing perlakuan inokulum jamur dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada minggu ke-1 dan ke-2, reduksi selulosa total oleh masing-masing jenis jamur tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dan sangat rendah yaitu di bawah 10%. Hal tersebut menunjukkan bahwa jamur-jamur tersebut masih dalam fase adaptasi. Pada minggu ke 3 mulai menunjukkan peningkatan dengan persentase reduksi sekitar 15%, yang artinya bahwa ke 3 jenis jamur tersebut sudah mulai masuk dalam fase pertumbuhan. Pada minggu ke-4 menunjukkan pertumbuhan yang cukup pesat. Jamur *T. harzianum* menunjukkan kemampuan mendegradasi selulosa yang tertinggi sampai 52,11 %, sedangkan jamur *T. reesei* dan *P. chrysosporium* masing-masing 31,96% dan 24,51%. Perlakuan kontrol tanpa inokulum, tidak menunjukkan adanya reduksi selulosa yang berarti yaitu hanya 2,37%.



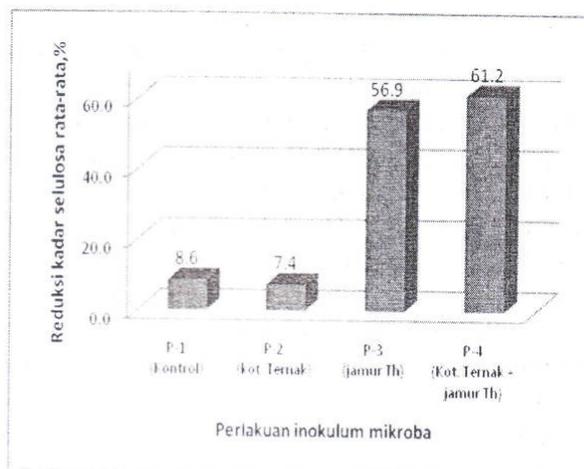
Gambar 3. Reduksi Selulosa oleh jamur

T. harzianum menunjukkan kemampuan yang tertinggi dalam mereduksi selulosa yang terkandung dalam limbah *sludge*. Hal ini disebabkan jamur *T. harzianum* memiliki sifat antagonis dengan beberapa jamur lain dan mampu menghancurkan dinding sel jamur lain dengan menghasilkan enzim β (1,4) glukonase dan kitinase, sehingga pertumbuhannya tidak akan terganggu oleh mikroba kontaminan (Butler and Jones, 1995 dalam Hariono, 1998). Secara visual, pertumbuhan miselium jamur *T. harzianum* sangat pesat dan dalam waktu inkubasi 28 hari hampir seluruh permukaan medium tertutup oleh miseliumnya.

Berdasarkan pengamatan visual terhadap pertumbuhan miselium jamur *T. harzianum* dan persentase reduksi selulosa, maka jamur *T. harzianum* merupakan jamur yang terpilih untuk digunakan pada percobaan selanjutnya yaitu proses pengomposan limbah *sludge*. Jamur *T. harzianum* mempunyai sifat selulolitik dengan mengekskresikan selulase. Selulase merupakan enzim yang dapat memutuskan ikatan glukosida β -1,4 di dalam selulosa. Enzim ini terdiri dari tiga komponen enzim, yaitu selobiohidrolase (CBH), endoglukanase, dan p-glukosidase yang bekerja secara sinergis memecah selulosa di alam (Hurst,2002). Kondisi pH untuk pertumbuhan jamur *T. harzianum* adalah 4,5 – 6 dan suhu 30°C.

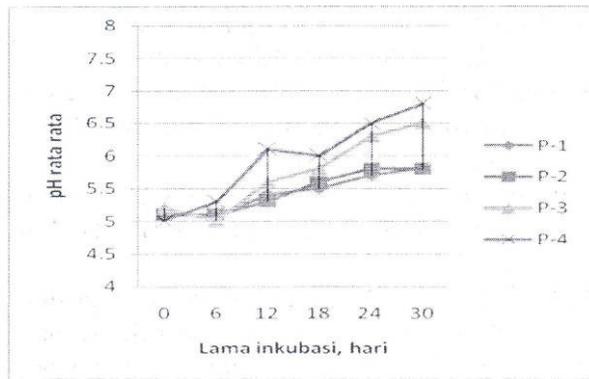
Pengomposan Limbah *Sludge*

Percobaan pengomposan limbah *sludge* dilakukan pada beberapa perlakuan penambahan inokulum mikroba sebagai aktivator proses pengomposan. Perlakuan pertama (P-1) merupakan perlakuan kontrol yaitu tanpa penambahan inokulum mikroba; perlakuan ke-2 (P-2) adalah perlakuan yang ditambah inokulum mikroba heterogen yang berasal dari kotoran ternak (sapi). (P-3) adalah perlakuan yang ditambah inokulum jamur *T. harzianum* sebanyak 5% ; dan (P-4) adalah perlakuan yang diberi inokulum mikroba campuran dari kotoran ternak 10% dan jamur *T. harzianum* 5%. Hasil proses pengomposan limbah *sludge* pada masing-masing perlakuan terhadap reduksi selulosa ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Reduksi Kadar Selulosa dalam Limbah *Sludge*

Proses pengomposan dengan variasi inokulum mikroba dapat mereduksi selulosa berkisar antara 7,4% – 61,2 %. Hasil evaluasi statistik menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antar perlakuan. Perlakuan P-1 (8,6%) dan P-2 (7,4%) tidak berbeda nyata, tetapi berbeda nyata terhadap perlakuan P-3 (56,9%) dan P-4 (61,2%), sedangkan perlakuan P-3 tidak berbeda nyata terhadap perlakuan P-4. Membandingkan data reduksi selulosa pada P-2; P-3 dan P-4 menunjukkan bahwa aktivitas Jamur *T. harzianum* dalam mereduksi selulosa dalam limbah *sludge* sangat berperan, bahkan sebagai pendegradasi selulosa yang utama. Tingginya degradasi selulosa yang terjadi pada P-3 dan P-4 merupakan hasil dari aktivitas *T. harzianum* yang memiliki selulase. Enzim ini mampu mendegradasi selulosa menjadi hemiselulosa, selobiosa, dan gugus gula (glukosa) dan akhirnya menjadi air dan CO₂. Tingginya reduksi selulosa oleh *T. harzianum* menunjukkan tingginya senyawa metabolit yang dihasilkan yang terdiri dari derivat-derivat selulosa. Hal tersebut tampak dari adanya perubahan pH medium dari 5 menjadi 6,5 (P-3) dan dari 5,1 menjadi 6,8 (P-4), sedangkan perubahan pH medium perlakuan P-1 dan P-2 tidak terlalu tinggi yaitu 5,8 (Gambar 5).



Gambar 5. Perubahan pH rata-rata medium

Perlakuan P-2 merupakan perlakuan yang identik dengan proses pengomposan konvensional yang selama ini dilakukan, menunjukkan reduksi selulosa yang sangat rendah yaitu sekitar 7,4%. Rendahnya reduksi selulosa ini, dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya adalah tingkat keaktifan dari mikroba yang ada dalam suspensi kotoran ternak dalam mendegradasi selulosa; tidak diketahuinya jumlah populasi dari masing-masing kelompok jamur dan bakteri, sehingga pH 5 kurang sesuai untuk populasi bakteri. Hungate (1966) dan Turpeinen (2007), menjelaskan bahwa kotoran ternak (sapi) merupakan sumber mikroba pendegradasi organik termasuk selulosa, namun jumlah dan jenisnya sangat dipengaruhi oleh banyak faktor lingkungan, sehingga efektivitasnya dalam mendegradasi selulosa akan berfluktuasi. Beberapa jenis mikroba yang terdapat dalam kotoran ternak sapi adalah a) bakteri pencerna selulosa (*Bakteroidessuccinogenes*, *Ruminococcus flavafaciens*, *Ruminococcus albus*, *Butyriofibrio fibrisolvans*), (b) bakteri pencerna hemiselulosa (*Butyriofibrio fibrisolvans*, *Bakteroides ruminicola*, *Ruminococcus sp*), (c) bakteri pencerna pati (*Bakteroides ammylophilus*, *Streptococcus bovis*, *Succinnimonas amylolytica*), (d) bakteri pencerna gula (*Triponema bryanti*, *Lactobacillus ruminus*), (e) bakteri pencerna protein (*Clostridium sporogenus*, *Bacillus licheniformis*). Berdasarkan data reduksi selulosa dari masing-masing perlakuan inokulum, menunjukkan bahwa proses pengomposan limbah sludge IPAL industri kertas lebih efektif dengan aktivator inokulum jamur *T. harzianum* (P-3) atau campuran antara inokulum dari kotoran ternak dengan jamur *T. harzianum* (P-4).

Kandungan karbon dan nitrogen dalam kompos limbah sludge dari perlakuan yang

diberi aktivator inokulum *T. harzianum* (P-3) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan karbon-Nitrogen dalam Kompos dari perlakuan (P-3)

Parameter	Satuan	Nilai	SNI*
pH	-	6,8	6.8 - 7.49
C - total	%	15,04	9.8 - 32
N - total	%	0,59	0.4
C/N ratio	-	25	10-20
Selulosa	%	28,88	-

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

Ditinjau dari sifat kimianya, pH kompos bersifat netral cenderung asam 6,8. pH kompos sangat menentukan mudah tidaknya unsur-unsur hara diserap tanaman. Pada umumnya unsur hara mudah diserap akar pada pH sekitar netral. Kandungan Karbon (C-total) dan Nitrogen (N-total) dalam kompos menunjukkan nilai yang telah memenuhi persyaratan kompos. Tetapi bila ditinjau dari C/N rasio menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi dari persyaratan. Kandungan unsur hara dalam kompos sangat bermanfaat untuk memperbaiki sifat-sifat fisik tanah seperti permeabilitas, porositas, struktur tanah dan juga bermanfaat untuk meningkatkan daya simpan air dan kation-kation tanah.

KESIMPULAN

- Limbah sludge IPAL dari pabrik kertas koran mengandung bahan organik cukup tinggi dengan kadar karbon total 24,15 – 28,49% dan selulosa 60,3%, sehingga pengelolaannya dapat dilakukan melalui proses pengomposan.
- Jamur *T. harzianum* memiliki kemampuan mendegradasi selulosa yang terkandung dalam limbah sludge IPAL pabrik kertas sampai 52,11 %, sedangkan jamur *T. reesei* dan *P. chrysosporium* masing-masing hanya 31,96% dan 24,51%.
- Penambahan aktivator jamur *T. harzianum* dapat meningkatkan reduksi selulosa sampai 61,2%, sehingga proses pengomposan limbah sludge IPAL industri kertas dapat dilakukan lebih singkat (28 hari).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada saudara Enden Siti Anisah yang telah turut berpartisipasi dalam pelaksanaan percobaan di Laboratorium Mikrobiologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Eaton A.D.; L.S. Clesceri.; E.W. Rice.; A.E. Greenberg;. 2005, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. APHA. Washington
- Cappuccino J.G., N. Sherman 2001. *Microbiology ; a Laboratory Manual*. Addison Wesley Publishing Company.Inc. Canada
- Hogg, S., 2005, *Essential Microbiology*, John Wiley & Sons Ltd, England.
- Hariono, S.D. 1998. *Teh Pada Berbagai Tingkat Keasaman Media In Vitro*. Surabaya
- Hungate. 1996. Mikroba Dalam Rumen. Tersedia di www.damandiri.or.id
- Hurst, C.J., 2002. *Manual of Environmental Microbiology*. Second Edition, ASM Press Washington, D.C.
- Martina, A., N. Dkk. 2002. Optimasi Beberapa Faktor Fisik terhadap Laju Degradasi Selulosa Kayu Albasia (*Paraserianthes falcataria* (L.) *Jurnal Natur Indonesia* 4. 2:156-163.
- OECD-301. 1992. *Guideline for Testing Chemicals, Ready Biodegradability*
- Sastramihardja, I., 1989. *Prinsip Dasar Mikrobiologi Industri*. Bandung : PAU-Bioteknologi ITB.
- Schlegel, H.G., 1994, *Mikrobiologi Umum*, Edisi ke-6, UGM Press, Jogyakarta. 470 – 471.
- Tucker, P., Pat Douglas. 2006. *Composted Paper Mill wastes as a Peat Substitute*. The University of Paisley. Scotland. www.svscomposting.com
- Turpeinen, B.K., 2007. *Lignocellulose Degradation and Humus Modification by the Fungus Paecilomyces inflatus*. Academic *Dissertation* in Microbiology. University of Helsinki. Helsinki.
- Wiater, A., Janusz, S., Malgorzata, P. dan Katarzyna, P., 2005. Production and use of mutanase from *Trichoderma harzianum* for effective Degradation of streptococcal mutans. *Brazilian journal of Microbiology* 36: 137 – 146
- Wymleberg, A.V., et al., 2006. Structure, Organization and Transcriptional Regulation of a family of Copper Radical Oxidase Genes in the Lignin Degrading *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and Environmental Microbiology*. 72(7): 4871 – 4877.
- TAPPI-487 pm-99 : Fungus Resistance of Paper and Paperboard