

KEKUATAN BIOREMEDIASI JAMUR DAN BIOKONVERSI LIMBAH PERTANIAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI BUDIDAYA JAMUR

Sabaruddin Wagiman Tjokrokusumo

Peneliti di Pusat Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Bioconversion technology of agricultural waste or biowaste has been known by industries as one of the technology that could provide or increase quality of food through industrial food processing. However, some of people in Indonesia have not been realized that uneconomic values and unnutritious of agro materials could be converted into high value of food and feed, and also usefull material for soil conditioner which is improved soil health. In addition, spent mushroom substrate as a waste of mushroom production can be used for a stater material to remediate contaminated soil as one of the strong capability material for bioremediation technology for polluted environment. Therefore, this review would like to create some hopes for pheasant to covert some agricultural waste materials into useful materials toward poverty alleviation and sustainable community development as mentioned by millennium development goals. Through this application of bioconversion and bioremediation technology of agricultural waste which is ubiquitous in tropical countries like Indonesia, we do much more for environmental care and social welfare.

Key words: *bioconversion technology, agricultural waste, healthy food, soil conditioner, and bioremediation technology.*

1. PENDAHULUAN

Teknologi biokonversi mempunyai arti yang sangat luas yang dapat diterapkan terhadap produk-produk yang berasal dari bahan biologis seperti pertanian, perikanan, kehutanan dan limbah lainnya seperti limbah hasil proses memproduksi makanan, dan juga ekstraksi non biologis seperti bahan-bahan yang berbasis bahan mineral dan kimia. Dalam konteks sekarang, istilah ini digunakan untuk menggambarkan suatu konversi biologis (biokonversi atau bioremediasi) dari limbah pertanian dengan menggunakan pendekatan proses fermentasi bahan padatan (*solid substrate*

fermentation process) yang biasa disebut SSF untuk memproduksi bahan makanan yang bisa dikonsumsi kembali, misalnya jamur dan produk-produk turunannya^(1,2). Kenapa hal ini penting untuk ditengarai karena limbah organik sangat berlimpah jumlahnya di dunia terutama di daerah tropika seperti Indonesia. Total produktivitas bersih dari biomasa kering yang dihasilkan karena proses fotosintesa oleh tanaman di dunia diperkirakan mendekati sejumlah besar 150 milyar ton pertahun^(3,4). Dari jumlah tersebut diperkirakan hanya 11% (16,5 milyar ton) yang dapat direpresentasikan sebagai produksi primer bahan material yang dapat mempunyai ciri untuk bisa digunakan

sebagai bahan pangan atau bahan makanan ternak, sedangkan selebihnya sebesar 133,5 milyar ton merupakan bahan yang tidak dapat dimanfaatkan oleh manusia (89% dari total produktivitas biomasa kering). Dari sejumlah 16,5 milyar ton per tahun tersebut hanya 25% yang dapat dikonsumsi sebagai bahan pangan atau makanan ternak, sedangkan selebihnya sebesar 75% merupakan bahan yang berpotensi untuk digunakan sebagai limbah yang dapat ditransformasi untuk produk-produk yang bernilai, dan bahan-bahan material seperti ini dapat dimanfaatkan untuk memproduksi protein dan bahan pangan lainnya, seperti jamur pangan dan obat-obatan, sehingga revolusi protein nabati ini dapat dinobatkan sebagai revolusi putih (*white revolution*) di tropika seperti di Indonesia, setelah adanya revolusi hijau beberapa dekade yang lalu, dimana negara Indonesia berhasil membuat dunia sebentar tercengang melihat bahwa Indonesia pada tahun 1970-an berhasil secara menakutkan mampu berswasembra beras yang selama ini pengimpor terbesar di dunia. Mungkin saat ini waktunya untuk menunjukkan pada dunia bahwa Indonesia juga mampu untuk memproduksi protein nabati secara nyata melalui revolusi putih^(5,6).

Budidaya jamur merepresentasikan satu dari proses yang sangat "*viable*" secara ekonomi untuk diperbaiki dan ditingkatkan dalam berbagai macam tipe bahan lignoselulosa⁽⁷⁾ yang berjumlah besar dari mana hal tersebut dihasilkan secara tahunan melalui aktivitas atau kegiatan kegiatan pertanian, kehutanan, dan industri proses makanan atau yang mengandung vegetasi alam. Jamur dapat diadaptasikan untuk tumbuh pada berbagai macam bahan baku yang sangat beragam termasuk jerami sereal, bubuk kayu gergajian, potongan kayu, bagasse, limbah kapas dari perusahaan tekstil, daun pisang, eceng gondok, kulit biji bunga matahari, bubur kopi dan gilingan kopi. Tidak seperti tanaman yang berklorofil, jamur tidak dapat

menggunakan energi matahari untuk proses biosintesa dan sebaliknya mengadopsi suatu moda saprofit dari metabolisme. Hal ini menyangkut produksi dari suatu baterai enzim ekstraselular untuk menghancurkan komponen utama polimer dari lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) kedalam bentuk nutrisi berguna untuk pertumbuhan jamur. Jamur yang dapat dimakan (jamur pangan) merupakan sebagian besar anggota dari Basidiomycetes tetapi meliputi dua Ascomycetes penting yaitu *Morchella* spp. (*de morels* =jamur yang dapat dimakan) dan *Tuber* spp. (*de truffles*= jamur yang terdapat didalam tanah). Dari diperkirakan 5 000 species jamur pangan yang dapat diketahui, ada kira-kira 80 jenis telah dapat dibudidayakan secara eksperimen dan ada sebanyak 20 species yang ditanam pada suatu skala komersial. Produksi dunia dari jamur budidaya telah meningkat lebih dari 40 kali selama 40 tahun terakhir, dari hanya 140 000 ton di tahun 1960 menuju suatu perkiraan sejumlah 6 juta ton di tahun 1999⁽⁸⁾.

Biokonversi biomassa lignoselulosa menggunakan proses fermentasi berstatus padatan (SSF) dalam bentuk teknologi budidaya jamur mempunyai beberapa keuntungan penting dari relevansinya terhadap ekonomi dan pengembangan teknologi dari masyarakat / komunitas khususnya bagi negara-negara yang sedang berkembang⁽⁹⁾, seperti di bawah ini:

- (1) Jamur pangan merupakan suatu sumber makanan bergizi tinggi. Jamur mempunyai kualitas organoleptik yang diinginkan, mengandung 19-35% protein berkualitas tinggi, mengandung lemak rendah, proporsi asam lemak tidak jenuh (*polyunsaturated*) relatif tinggi terhadap asam lemak total, dan merupakan pangan yang kaya akan serat, mineral dan vitamin. Jamur mempunyai suatu arti yang efektif untuk tambahan makanan pada populasi yang hidup berpendapatan rendah dalam komunitas kekurangan pangan.

- (2) Beberapa jamur merupakan suatu sumber metabolit yang bernilai tinggi dengan ciri-ciri bahan obat yang disebut jamur bergizi dan berkhasiat obat. Kebanyakan jamur telah diketahui sejak lama karena khasiatnya yang sebagai tonikum dan cirinya yang berkhasiat obat, dasar ilmiahnya yang mana secara bertahap menjadi lebih dimengerti dengan adanya aplikasi teknik analisa moderen.
- (3) Walaupun budidaya jamur dan keberhasilan pengoperasian suatu pertanian jamur membutuhkan suatu pemahaman pengertian dari prinsip ilmu pengetahuan tertentu dan pengalaman praktis dalam teknologi jamur, namun jamur relatif lebih mudah untuk dibudidayakan dan diproses:
- a. Bahan bakunya yang dibutuhkan sangat murah dan biasanya tersedia dengan gampang,
 - b. Kebutuhan ruang lahan sangat sedikit dibandingkan dengan tanaman-tanaman pertanian lainnya,
 - c. Budidaya jamur adalah sangat menarik khususnya dimana operasi berkapital intensif berskala besar tidak dibutuhkan/tidak cocok (sebagai contoh suatu industri kecil / *cottage industries*),
 - d. Mudah dalam proses paska panen (seperti pengeringan atau dibuat acar), disimpan dan ditransportasikan,
 - e. Bahan sisanya setelah budidaya jamur dapat digunakan sebagai pakan ternak dan atau bahan pengkondisi tanah.
 - f. Jamur dapat digunakan sebagai suatu sumber enzim untuk memproduksi bahan pakan kimia atau bahan untuk proses bioremediasi.

2. ENZIMOLOGI DARI BIOKONVERSI LIMBAH PERTANIAN

Berbagai macam limbah yang dihasilkan melalui kegiatan industri pertanian dan kehutanan dapat diadopsi sebagai substrat pertumbuhan budidaya jamur. Di kebanyakan kasus, limbah-limbah ini di terdiri dari lignoselulosa, komponen utamanya antara lain adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Ketiga komponen utama tersebut secara erat berasosiasi dengan dinding sel tanaman dimana mereka membentuk suatu matriks yang sangat kompleks.

Karena cendawan jamur tidak mempunyai kemampuan untuk menggunakan energi matahari, pertumbuhan dan pembuahan dari individu suatu species jamur pada suatu substrat lignoselulosa akan tergantung sepenuhnya pada kemampuan cendawan tersebut menggunakan komponen yang kompleks ini yaitu dari limbah pertanian sebagai suatu sumber gizinya. Hal ini sebaliknya akan ditentukan oleh kapasitas jamur untuk mensintesa enzim hidrolitik dan oksidatif untuk mengkonversi biopolimer ke dalam bentuk senyawa larut berberat molekul rendah yang mana kemudian diserap oleh hypha cendawan melalui suatu proses yang disebut proses penyerapan gizi atau makanan.

Ketiga grup utama dari enzim-enzim tersebut yang berperan dalam menghan-curkan limbah pertanian tersebut antara lain adalah enzim selulase, hemiselulase dan ligninase.

2.1 Biodegradasi Selulosa

Selulosa adalah biopolimer yang sangat melimpah di alam biosfer dengan suatu produksi tahunan sebesar $1,8 \times 10^{12}$ ton. Selulosa terdiri dari unit ikatan rantai linear β -(1,4)-glukosa yang tidak larut dalam air dengan suatu tingkat rata-rata

polimerisasi (DP) in situ dari 10 000. Rantai polysakarida berasosiasi membentuk fibril dasar yang tidak larut yang kemudian beragregasi sebagai fibril mikro. Ikatan antar rantai muncul melalui ikatan hydrogen dan tenaga *van der Waals*. Unit yang terulang dari selulosa adalah disebut selobios karena diantara moieties glukosa di rotasi 180° sepanjang aksis dari rantai polimer.

Selulase adalah suatu enzim yang multi komponen yang umumnya terdiri dari 3 komponen utama, yaitu endoglukanase, selobiohidrolase dan β -glukosidase (selobiase). Selulase adalah pertama kali menghancurkan zona amorfus oleh enzim endoglukanase, kemudian menghasilkan sejumlah tempat yang dapat diserang oleh selobiohidrolase. Kemudian berlanjut aksi kerjasama ini antara endo-dan exo-splitting polisakarida, dikombinasi dengan aksi terminal atau samping atau utama dari selubiase, untuk menghasilkan glukosa. Kedua bentuk dari setiap endoglukanase dan selobiohidrolase adalah secara teori memungkinkan berdasarkan pada dua konfigurasi stereo dari unit selobiosil dalam rantai selulosa.

2.2 Biodegradasi Hemicelulosa

Hemicelulosa adalah polisakarida berberat molekul rendah berasosiasi dengan selulosa dan lignin dalam dinding sel tanaman. Hemicelulose yang berasal dari tanaman berkayu membentuk berbagai jenis residu gula, yang paling umum dijumpai adalah D-xylose, D-mannose, D-galactose, L-arabinose, asam 4-O-methylglucuronic, asam D-galacturonic dan asam glucuronic. Berbagai macam residu gula dari hemicelulosa yang berasal dari rerumputan dan sereal adalah berat molekulnya lebih kecil, seperti D-xylose, L-arabinose, D-glucose dan D-galactose. Yang paling berlimpah dari hemicelulosa adalah dari golongan xylans. Komponen gula yang utama dari xylan adalah D-xylose. Sebagaimana dengan selulosa, residu D-

xylose adalah ikatan B-1,4-. Berlawanan dengan selulosa, bagaimanapun, struktur xylan tidak seragam dan normalnya mengandung komponen lain.

Penghancuran yang sempurna dari suatu heteroxylan tanaman membutuhkan aksi yang bersama-sama dari sejumlah enzim hidrolitik. Enzim kunci untuk degradasi xylan adalah endo-B-D-xylanase yang menyerang rantai utama, menghasilkan non-substitusi atau cabang xylo-oligosakarida. Bahan yang terkandung dalam rantai utama dilepaskan atau dibebaskan oleh glycosidase dan esterase yang berhubungan langsung, seperti sebagai berikut:

- Residu A-L-arabinosyl oleh a-D-arabinofuranosidase,
- Residu 4-O-methyl-D-glucuronosyl atau residu D-glucuronosyl oleh a-glucuronidase,
- Asam asetat, asam p-coumaric dan asam ferulic oleh esterase yang berhubungan.
- B-xylosidase menyerang xylo-oligosakarida dihasilkan oleh aksi B-xylanase dan hidrolisa lainnya dari akhir yang tidak tereduksi, membebaskan D-xylose sebagai satu-satunya produk hidrolisa.

Enzim yang melepaskan bahan yang mengandung xylan beraksi secara sinergi dengan depolimerisasi B-xylanase.

2.3 Degradasi lignin

Lignin adalah suatu zat yang bersifat amorfus, tidak larut dalam air, polimer aromatik tiga dimensi dibentuk oleh coupling acak dari radikal bebas dihasilkan oleh aksi peroksida pada 3 phenylpropanol alcohol, p-coumaryl, coniferyl, dan synapyl alcohol. Hasil polimerisasi dalam suatu struktur heterogen phenylpropanoid dimana untai dasarnya terikat bersama-sama oleh beberapa tipe yang berbeda dari ikatan C-C dan C-O-C.

Lignin dapat diklasifikasikan kedalam 3 tipe utama menurut proporsi relatif dari tiga precursor phenylpropanoid alcohol, yaitu:

- (a) guaiacyl lignins (kayu lunak)
- (b) guaiacyl-syringyl lignins (kayu keras)
- (c) guaiacyl-syringyl-p-coumaryl lignins (rerumputan)

Dibanyak system cendawan yang telah diselidiki hingga saat ini, proses degradasi lignin membutuhkan hal-hal sebagai berikut:

- (a) suatu sumber karbon yang dapat digunakan secara lebih cepat tersedia (lignin tidak berperan sebagai satu-satunya sumber karbon atau energi)
- (b) prosesnya digerakkan/dipicu oleh adanya keterbatasan nitrogen atau karbon
- (c) prosesnya juga ditingkatkan oleh adanya peningkatan tensi/tegangan/regangan oksigen.

Ketiga tipe utama enzim yang mendegradasi lignin tersebut dikenal sebagai berikut: dua peroksidase besi, peroksidase mangan dan peroksidase lignin, serta laccase.

Konsep pembakaran enzim telah berkembang untuk menggambarkan penyerangan yang tidak spesifik pada polimer lignin oleh species radikal menghasilkan ligninase. Tidak adanya kekhasan yang berasosiasi dengan mekanisme degradasi mempunyai aplikasi penting untuk merombak atau menghancurkan banyak rekalsitran xenobiotics (seperti DDT, dioxin, a-benzpyrene, dyestuffs; bahan-bahan pewarna untuk pencelupan tekstil) yang mengakumulasi ke tingkat yang meracuni di lingkungan.

3. ININGKATKAN NILAI SUBSTRAT SISA BUDIDAYA JAMUR

Disamping jamur budidaya dapat digunakan untuk mensubsitusi pangan yang

bergizi karena kandungan protein dan nilai gizi lainnya (*nutriceutikal*), maka sisa substrat jamur juga dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam kegunaan antara lain adalah sebagai berikut:

(a) Menggunakannya sebagai suatu bahan pakan ternak

Memproduksi jamur pangan juga merepresentasikan suatu metoda yang sangat menarik perhatian dari memperbaiki kualitas gizi atau nutrisi dari limbah lignoselulosa untuk digunakan sebagai bahan pakan ternak. Limbah hasil industri pertanian dan kehutanan adalah merupakan residu yang kaya akan karbohidrat yang merepresentasikan suatu sumber potensial dari energi diet untuk ternak ruminansia. Bagaimanapun, nilai pakan dibatasi oleh rendahnya degradasi polisakarida yang diperoleh/dicapai selama penyerapan dalam rumen. Kemampuan penyerapan yang terbatas ini disebabkan karena adanya lignin yang beraksi sebagai suatu rintangan penghalang (*barier depriving*) enzim selulotic dan hemiselulolytic yang mengakses ke komponen polisakarida. Suatu pengertian yang lebih baik dari fisiologi mikrobial dan biokimia dari biodegradasi lignin telah terfokus lebih perhatian pada perlakuan delignifikasi berdasarkan pada cendawan yang dapat mendegradasi lignin, termasuk beberapa species yang dapat dimakan. Kecepatan degradasi lignin lebih tinggi secara relatif dan akibatnya peningkatan dalam kemampuan untuk mencerna diperoleh dengan menggunakan jerami sereal sebagai suatu substrat sebagai bandingan dengan kayu dan beberapa jenis pangan lainnya, memunculkan suatu kapasitas yang tinggi meningkatkan *digestibility in vitro* dari jerami gandum. Jadi hal itu benar, lignifikasi biologis dari preparasi kayu mungkin juga menawarkan kemungkinan untuk memproduksi sumber pakan ternak ruminansia. Di selatan Chili, delignifikasi cendawan dari kayu telah diamati dibawah kondisi alami. Hasil produk delignifikasi

diketahui sebagai “*palo podrido*” adalah suatu dekomposisi putih dari kayu yang digunakan sebagai suatu pakan ternak. *Digestibility in vitro* dari kayu ditingkatkan dari 3% hingga 77% di beberapa kasus walaupun prosesnya panjang dan lambat. Perlakuan yang lebih efektif untuk meningkatkan kemampuan *digestibility* dari kayu, jerami dan hasil sampingan dari bahan lignoselulosa menggunakan cendawan lignolitik adalah tergantung pada riset terkoordinasi lebih lanjut bertujuan untuk mengoptimalkan proses fermentasi dalam kondisi padatan yang berperan.

(b) Substrat Sisa Budidaya Jamur untuk Pupuk dan Kondisioner Tanah

Kompos sisa budidaya jamur terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin yang telah terdegradasi sebagai suatu pupuk dan tanah yang sangat efektif. Sebagai tambahan untuk memberikan suatu keseimbangan sumber nitrogen dan karbon bagi pertumbuhan tanaman. Kompos sisa budidaya terus bertransformasi lebih lanjut dalam tanah membentuk humus. Bahan baku ini mempunyai suatu peranan yang sentral atau terpusat dalam menjaga struktur tanah dan dalam memperbaiki aerasi tanah dan kapasitas memegang air tanah. Ketika buangan kompos sisa limbah kapas setelah budidaya jamur merang *Volvariella volvacea* digunakan untuk menanam/menumbuhkan selada, lobak china dan tomat, hasil sayurannya mencapai 3, 3, dan 7 kali lebih tinggi secara berurutan dibandingkan dengan yang diperoleh tanpa menggunakan kompos sisa budidaya jamur.

(c) Menggunakan Substrat Sisa Budidaya Jamur Untuk Tujuan Bioremediasi

Data yang dikumpulkan selama satu dekade yang lalu menunjukkan bahwa berbagai macam limbah kimia berbahaya (seperti DDT, pentachlorophenol, chlorinated biphenyls, dioxin) dan bahan-bahan kromogenik (seperti limbah keluaran pabrik pencucian pulp bubuk kayu kraft, pewarna/pencelupan azo-dan heterocyclic) mungkin

dapat diperlakukan secara efektif dengan menggunakan system biologis berbasis cendawan pembusuk berwarna putih (*white-rot fungi*). Di banyak kasus, bukti yang tersedia menyarankan bahwa kapasitas bioremediasi dari system tersebut muncul menjadi berhubungan dengan aktivitas degradasi lignin dari cendawan-cendawan ini.

Beberapa pendekatan yang ikut serta dalam menggunakan substrat sisa budidaya jamur (SMS=*spent mushroom substrate*) untuk tujuan bioremediasi menjamin penyelidikan lebih lanjut. SMS mempunyai peranan potensial penting untuk perlakuan biologis dari tanah yang terkontaminasi secara in situ dan menawarkan suatu teknologi yang sangat menarik untuk menghilangkan kontaminasi dari lokasi lahan yang digunakan untuk pembuangan limbah berbahaya dan beracun (hazardous). Suatu studi telah mendemonstrasikan bahwa sisa kayu gergajian hasil budidaya jamur Shiitake (*Lentinus edodes*) memetabolisasi pentachlorophenol dalam tanah hingga mencapai suatu hasil yang sangat signifikan (nyata) hingga mencapai 60 persen penghilangan dari xenobiotic yang tercatat selama periode 21 hari. Sebagai alternatif, aktivitas bioremediasi yang bersifat endogenous dari SMS mungkin dapat ditingkatkan oleh penggunaan bahan tersebut sebagai suatu kendaraan untuk mengintroduksi/memperkenalkan sejumlah besar inokula dari cendawan pendegradasi xenobiotic yang sangat tinggi efektivitasnya terhadap lingkungan yang telah terkontaminasi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Jamur pangan mempunyai nilai gizi yang tinggi dan juga mempunyai nilai bahan pangan yang dapat memperbaiki kesehatan manusia dan menjaga kondisi menjadi sehat karena faktor nutrisitikal yaitu baik berguna untuk pangan maupun obat. Disamping itu sisa substrat budidaya juga dapat digunakan dan dimanfaatkan untuk pakan ternak, bahan penyubur tanaman, penggembur tanah, dan memulihkan kesehatan tanah yang diakibatkan oleh polusi, seperti pupuk yang berlebihan,

pestisida, insektisida, herbisida, dan bahan polusi lainnya seperti logam berat dan bahan kimia organik yang tergolong dalam POP (*persistent organic pollutants*).

DAFTAR PUSTAKA

1. Aidoo, K.E., Hendry, R., and Wood, B.J.B. 1982. *Adv. App. Microbiol.* 28:201-206.
2. Tengerdy, R.P. 1985. *Trends Biotechnol.* 3:96-99.
3. Bassham, J.A. 1975. In *Cellulose as a Chemical and Energy Resource*, Biotech. Bioeng. Symp. No.5 (ed. C.R. Wilke), Interscience, New York, p.9.
4. Rajarathnam, S. dan Bano, Z. 1989. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 28:33-55.
5. Buswell, J.A. 2003. Komunikasi pribadi di Shanghai China dalam rangka training dan workshop on "Edible and Medicinal Mushroom" di Institute of Edible Mushroom Shanghai, China tanggal 10-21 Nopember 2003.
6. Chang, S.T. 2003. Komunikasi pribadi di Shanghai China dalam rangka training dan workshop on "Edible and Medicinal Mushroom" di Institute of Edible Mushroom Shanghai, China tanggal 10-21 Nopember 2003.
7. Chang, S.T. and Miles, P.G. 1992. Mushroom biology- a new discipline. *The Mycologist* 6:64-65.
8. Chang, S.T. 2001. Production of Cultivated Edible Mushroom in China with Emphasis on *Lentinula edodes*. <http://www.hri.ac.uk/ISMS.article6.htm>
9. Chang, S.T. 1998. A global strategy for mushroom cultivation – A Chal lenge of a "Non-Green Revolution". The Proceedings of the "98's Nanjing International Symposium on Science and Cultivation of Mushrooms", Nanjing, China.