

## **Perlakuan Biologis Dengan Memanfaatkan Fungi Untuk Meningkatkan Kualitas Pakan Ternak Asal Hasil Samping Pertanian**

### ***Biological treatment by utilizing fungi to improve the quality of animal feed from agricultural By product***

**Yanuartono, H. Purnamaningsih, S. Indarjulianto\*, A. Nururrozi, S. Raharjo, & N. Haribowo**

Departemen Ilmu Penyakit Dalam, Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Gadjah Mada. Jl. Fauna No.2,

Karangmalang, Depok, Sleman. 55281 Yogyakarta

Tel : +62-274-560862, Fax +62-274-560861

\*corresponding email: idarjulianto@ugm.ac.id

#### **ABSTRAK**

Peningkatan kualitas pakan hewan merupakan hal penting dan mendasar dalam pengelolaan peternakan supaya menjadi lebih baik. Sampai saat ini telah diakui bahwa kualitas pakan yang rendah bertanggung jawab terhadap rendahnya penampilan hewan ternak. Bagi sebagian besar peternak, pakan merupakan komponen biaya paling tinggi dalam usaha peternakan. Pakan alternatif dapat diperoleh dari limbah pertanian yang banyak terdapat dalam jumlah besar di seluruh dunia. Faktor utama yang membatasi pemanfaatan limbah pertanian seperti jerami padi, jerami gandum dan jerami jagung adalah pencernaan, kadar protein dan palatabilitas yang rendah. Namun, nilai gizi dari limbah pertanian dapat ditingkatkan melalui perlakuan biologis sehingga memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan nutrisi hewan. Perlakuan biologis merupakan pendekatan alternatif dengan memanfaatkan fungi untuk meningkatkan pencernaan limbah pertanian. Penggunaan white rot fungi, brown rot fungi dan soft rot fungi yang memetabolisme lignoselulosa merupakan perlakuan biologis potensial untuk meningkatkan nilai gizi limbah pertanian tersebut. Makalah ini bertujuan untuk membahas peran fungi dalam meningkatkan nilai gizi limbah pertanian seperti jerami padi, jerami gandum dan jerami jagung.

**Kata kunci:** Limbah pertanian, Perlakuan biologis, fungi, Lignoselulose

#### **ABSTRACT**

*An improvement in animal feeding is one of the important and basic conditions for the better management of farming of animals. It was recognized that poor quality of the feed is mainly responsible for the poor animal performance. For most farming practices, feed share a higher cost for livestock production. Alternative feed can be obtained from agricultural by-products potentially huge amount around the world. The main factors limiting the utilization of agricultural by-products like paddy straw, wheat straw and corn stover are their low digestibility, low protein content and some time low palatability. However, the nutritive value of the agricultural by-products can be enhanced through their biological treatment and hence play an important role to meet nutrient requirements of the animals. Thus, an alternative approach is biological treatment especially fungi to increase digestibility of agricultural by-products. The use of white rot fungi, brown rot fungi and soft rot fungi that metabolize lignocelluloses is a potential biological treatment to improve the nutritional value of the agricultural by-products. This paper aims to discuss the role of fungi in increasing the nutritional value of agricultural by-products like paddy straw, wheat straw and corn stover.*

**Keywords:** Agricultural by-products, Biological treatment, fungi, Lignocelluloses

## PENDAHULUAN

Semakin mahalny harga bahan baku pakan ternak ruminansia memaksa industri peternakan mencari alternatif bahan pakan dengan harga yang masih terjangkau untuk menekan biaya operasional. Alternatif bahan pakan yang paling memungkinkan adalah limbah pertanian yang diproduksi sepanjang tahun di seluruh dunia. Selain hal tersebut diatas, saat ini telah terjadi perubahan yang berlangsung secara terus menerus dalam industri peternakan berdampak pada berkembangnya penelitian dan evaluasi metode peningkatan nilai gizi limbah pertanian melalui pendekatan teknologi pemrosesan dengan biaya rendah. Sampai saat ini banyak limbah pertanian diberikan secara langsung kepada ternak tanpa melalui proses pelakuan lanjut karena merupakan cara yang paling praktis, mudah dilakukan dan dapat menghemat tenaga maupun biaya peternak. Namun demikian, limbah pertanian yang dimanfaatkan sebagai pakan ternak mempunyai kelemahan yaitu adanya faktor pembatas yang terkandung di dalamnya (Abd El-Rahman et al., 2014; Azizi et al., 2018). Faktor pembatas limbah pertanian tersebut adalah rendahnya kandungan protein kasar, tingginya kandungan lignin dan selulosa dan hemiselulosa (El-Ashry et al., 2002; Van Soest, 2006). Seiring dengan berkembangnya ilmu pakan ternak berbagai macam upaya dalam meningkatkan nilai nutrisi limbah pertanian terus dilakukan oleh para ahli nutrisi. Sampai saat ini metode yang dilakukan berupa perlakuan mekanik seperti pemotongan dan pencacahan (Jibrin et al., 2013; Ramulu et al., 2018), perlakuan fisik dengan penggilingan (Selim et al., 2004) dan pemasakan (Sangnark

and Noomhorm, 2004; Bodie et al., 2019). Sedangkan metode kimiawi berupa pelakuan alkaline (Jackson, 1977), asam (Sheng et al., 2017) atau agen oksidatif (Patel & Bhatt, 1992).

Metode yang sekarang terus dikembangkan adalah metode biologis karena memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan metode yang lain. Kelebihan tersebut berupa biaya yang lebih ringan, pengerjaan yang lebih sederhana namun dapat meningkatkan nilai nutrisi secara nyata. Contoh produk samping pertanian yang melimpah dan dapat dimanfaatkan untuk menjadi pakan ternak adalah jerami padi (Khanday et al., 2018), jerami jagung (Fernandez et al., 2004), limbah tanaman sawit (Rizali et al., 2018) dan jerami gandum (Ni et al., 2014). Metode biologis pada umumnya bertujuan untuk mengawetkan pakan, meningkatkan kualitas pakan serta diharapkan dapat memperbaiki kondisi rumen dengan memanfaatkan peran mikroorganisme (Wina, 2005; Abdel-Aziz et al., 2015). Berbagai macam contoh fungi yang telah diteliti dan diproduksi secara komersial guna meningkatkan nilai produk samping pertanian sebagai bahan pakan ternak antara lain adalah *Saccharomyces cerevisiae* (Duniere et al., 2015; Zhu et al., 2017), *Aspergillus oryzae* (Caton et al., 1993; Lee et al., 2014), *Streptomyces griseus* (Coblentz et al., 1999), *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium* (Supriyatna, 2017), *Trichoderma* sp (Sukaryani et al., 2016). Artikel ini merangkum secara singkat penggunaan fungi dalam meningkatkan kualitas limbah pertanian sebagai pakan ternak.

## KARAKTERISASI KANDUNGAN NUTRISI PRODUK SAMPING PERTANIAN

Kandungan limbah pertanian menurut Saha (2004) didominasi oleh bahan lignoselulosa yang merupakan komponen organik berlimpah di alam, yang terdiri dari tiga polimer yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Leng (1991) menambahkan bahwa pemanfaatan produk samping pertanian sebagai pakan ternak masih terbatas karena karakteristik komposisi kimia yang kurang menguntungkan seperti tingginya kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa sehingga mengakibatkan pencernaan menjadi rendah.

Kecernaan rendah tersebut terutama disebabkan oleh keberadaan lignin yang berperan menghalangi proses perombakan polisakarida dinding sel oleh mikroba rumen (Jung & Allen, 1995; Moore and Jung, 2001).

Menurut Saha (2004) secara umum komponen penyusun terbesar limbah pertanian adalah selulosa (35-50%), hemiselulosa (20-35%) dan lignin (10-25%). Karakteristik komponen tersebut sangatlah kompleks sehingga dalam proses degradasi, penggunaannya sebagai substrat harus melalui beberapa proses tahapan seperti delignifikasi guna melepas selulosa dan hemiselulosa dari ikatan kompleks lignin dan depolimerisasi untuk mendapatkan gula bebas.

Lignin merupakan komponen yang sangat sulit didegradasi karena tersusun dari polimer aromatik yang unitnya dihubungkan oleh ikatan eter serta karbon-karbon dan berfungsi memperkuat struktur tumbuhan (Perez *et al.*, 2002). Selulosa adalah polimer yang tersusun atas unit-unit glukosa melalui

ikatan  $\alpha$ 1,4-glikosida. Bentuk polimer tersebut memungkinkan selulosa saling terikat menjadi bentuk serat yang sangat kuat, meskipun demikian, selulosa dapat dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan asam atau enzim (Siqueira *et al.*, 2010). Sedangkan Orskov, (1988) menyatakan bahwa hemiselulosa merupakan kelompok serat yang tak larut air yang tersusun atas rantai panjang  $\beta$ (1-4)-xylosa yang mempunyai rantai cabang karbohidrat pendek, arabinosa tunggal dan asam uronat.

Hemiselulosa berperan sebagai penyusun dinding sel tanaman monokotil maupun dikotil. Kedua komponen tersebut yaitu selulosa dan hemiselulosa merupakan penyusun utama dinding sel tanaman, dan sering berikatan dengan lignin dalam bentuk kristal yang disebut lignoselulosa. Komponen biomassa lignoselulosa dari berbagai limbah pertanian disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. merupakan rangkuman singkat dari hasil penelitian terhadap kandungan biomassa lignoselulosa limbah pertanian berupa jerami padi, jerami jagung dan jerami gandum. Meskipun demikian, kami hanya mengambil sebagian kecil dari penelitian yang ada dan dianggap cukup mewakili, baik dari sisi waktu penelitian maupun asal limbah tersebut.

Limbah pertanian baik jerami padi, jerami jagung dan jerami gandum mengandung komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan variasi prosentase yang cukup besar meskipun semuanya memiliki prosentase yang tinggi. Kisaran kandungan selulose, hemiselulose dan lignin adalah 27,09% sampai 46,50%, 17,46% sampai 32,00%, 3,82% sampai 30,00%.

Tabel 1. Kandungan biomassa lignoselulosa berbagai limbah pertanian

Jenis Limbah	Biomassa Lignoselulosa			Pustaka
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	
Jerami padi	37,71%	21,99%	16,62%	Dewi, 2002
Jerami padi	39,04%	21,64%	16,20%	Manjunath et al., 2008
Jerami padi	41,30%	20,40%	12,10%	Kumar et al., 2008
Jerami padi	31,10%	22,30%	13,30%	Chen et al., 2011
Jerami padi	32,15%	28,00%	19,64%	Shawky et al., 2011
Jerami padi	46,50%	22,50%	29,10%	Nasri-Nasrabadi et al., 2014
Jerami padi	27,09%	17,46%	11,12%	Maharani et al., 2017
Jerami padi	32,50%	19,80%	6,50%	Matias et al., 2019
Jerami jagung	40,00%	22,00%	18,00%	Kim et al., 2003
Jerami jagung	38,00%	26,00%	13,00%	Zhu, et al., 2005
Jerami jagung	39,00%	36,00%	10,00%	Berlin et al., 2005
Jerami jagung	38,00%	28,00%	30,00%	Wan & Li, 2012
Jerami jagung	42,60%	21,30%	8,02%	Sarkar et al., 2012
Jerami jagung	38,33%	29,76%	3,82%	Khatri et al., 2015
Jerami jagung	37,00%	22,70%	18,60%	Kim et al., 2016
Jerami gandum	35,00%	32,00%	21,00%	McKendry, 2002
Jerami gandum	32,10%	24,00%	18,00%	Howard et al., 2003
Jerami gandum	32,00%	29,00%	16,00%	Demirbas, 2005
Jerami gandum	30,20%	21,00%	17,00%	Ballesteros et al., 2006
Jerami gandum	34,20%	23,70%	13,90%	Adapa et al., 2009
Jerami gandum	23,00%	35,00%	13,00%	Isikgor & Becer, 2015
Jerami gandum	38,18%	28,98%	15,67%	Tufail et al., 2018
Jerami gandum	43,40%	29,90%	22,20%	Shah & Ullah, 2019

Kumar et al. (2009) dan Iqbal et al. (2011) menyatakan bahwa pada umumnya hampir semua biomasa limbah pertanian tersusun atas 40-50% selulosa, 20–30% dan

10-25% lignin. Perbedaan jumlah kandungan biomassa lignoselulosa kemungkinan disebabkan oleh umur limbah jerami karena kandungan dinding sel jerami terutama lignin

bertambah dengan meningkatnya umur tanaman. Kemungkinan yang lain adalah jenis tanah (Speratti et al., 2017), jenis limbah tanaman, spesies tanaman, serta metode yang digunakan untuk analisa komposisi biomassa lignoselulosa (Carere et al., 2008; Jia et al., 2013; Niu et al., 2016). Tabel 1. memperlihatkan tingginya kandungan selulosa dan hemiselulosa yang merupakan dua komponen utama fraksi serat dan keduanya mempunyai keterikatan erat serta sangat bermanfaat bila bahan tersebut dicerna oleh mikroba rumen tetapi menurut Van Soest (1985) kedua komponen tersebut sulit dicerna oleh mikroba rumen. Tang et al. (2008) juga menyatakan bahwa tingginya kandungan serat pada limbah pertanian akan menghalangi proses hidrolisis oleh enzim mikroba di dalam rumen, sehingga menurunkan tingkat kecernaannya.

Kandungan lignin yang tinggi dari berbagai macam limbah pertanian disajikan pada Tabel 1. Menurut Eun et al. (2006) kandungan lignin pada jerami akan menentukan kualitas bahan pakan maupun kecernaannya. Oleh karena itu harus ada metode untuk pemutusan senyawa kompleks lignin-selulosa (delignifikasi) dan melarutkan silika sehingga nilai nutrisinya mengalami peningkatan. Arroyo, (2000) menyatakan bahwa lignin merupakan polimer poli aromatik dengan berat molekul tinggi yang tahan terhadap hidrolisis enzimatis fermentasi oleh mikroba rumen. Sifat lignin tersebut pada akhirnya akan mengakibatkan keterbatasan kecernaan selulosa dan hemiselulosa pada ternak ruminansia (Hatakka, 2000). Fredriksz et al. (2001) memberikan pernyataan bahwa setiap bahan pakan asal hasil samping tanaman

mempunyai variasi degradasi dan sangat tergantung pada bagian dari tanaman, umur, tingkat lignifikasi yang spesifik. Oleh sebab itu, guna meningkatkan nilai nutrisi limbah pertanian yang mengandung banyak komponen serat diperlukan pengolahan yang bertujuan untuk memutus ikatan lignoselulosa dan memfasilitasi penetrasi enzim sehingga diharapkan akan meningkatkan fermentabilitasnya.

### **JENIS FUNGI DALAM PENGOLAHAN PRODUK SAMPING PERTANIAN**

Jenis fungi yang sering dimanfaatkan dalam metode pengolahan biologis limbah pertanian adalah kelompok white rot fungi, brown rot fungi dan soft rot fungi. Kelompok white rot fungi memiliki kemampuan mendegradasi lignin, selulosa dan hemiselulosa (Leonowicz et al., 1999), sedangkan kelompok brown rot fungi dan soft rot fungi hanya mampu mendegradasi selulosa dan hemiselulosa (Hatakka, 2005). Karena kemampuannya dalam mendegradasi lignin maka white rot fungi biasa disebut mikroorganisme yang bersifat ligninolitik.

Pointing (2001) menyatakan bahwa kemampuan mendegradasi lignin tersebut karena white rot fungi dapat mengeluarkan satu atau lebih dari 3 enzim ekstraseluler yang berperan dalam degradasi lignin dan biasa disebut lignin-modifying enzymes Kelompok brown rot fungi yang sering dimanfaatkan untuk degradasi selulosa dan hemiselulosa adalah *Piptoporus betulinus* (Valaskova & Baldrian, 2006), *Gloeophyllum sepiarium* (Mansfield et al., 1998), dan *Tyromyces palustris* (Ishihara & Shimizu, 1984), Serpula

lacrymans (Filley et al., 2002). Sampai saat ini, white rot fungi dalam kelompok Basidiomycetes merupakan kelompok fungi yang paling banyak dimanfaatkan untuk mendegradasi lignin. Banyak penelitian yang sudah membuktikan kemampuan white rot fungi dalam mendegradasi lignin seperti *Trametes versicolor*, *Trametes elegans*, *Polyporus anceps*, *Phanerochaete chrysosporium* dan *Pleurotus ostreatus* (Han et al., 2004). Menurut Kang et al. (2013) kemampuan mendegradasi lignin yang paling efisien adalah *Phanerochaete chrysosporium*. Melihat perbandingan kemampuan antara white rot fungi dan brown rot fungi dalam pengolahan biologis limbah pertanian yang dimanfaatkan sebagai pakan ternak maka pilihan yang lebih tepat adalah dari kelompok white rot fungi. Menurut Madadi & Abbas (2017) dan Janusz et al. (2017), white rot fungi adalah kelompok yang paling efisien karena memiliki kemampuan mendegradasi lignin dibandingkan dengan brown rot fungi dan soft rot fungi yang terbatas pada degradasi hemiselulose dan selulosa.

#### **PENGOLAHAN PRODUK SAMPING PERTANIAN DENGAN FUNGI**

Karakteristik umum jenis pakan asal limbah pertanian memiliki ciri kandungan protein rendah, serat tinggi dan mineral yang tidak seimbang. Karakteristik tersebut menjadi faktor pembatas limbah pertanian dalam rangka pemanfaatannya sebagai pakan ternak. Kondisi tersebut menyebabkan limbah pertanian hanya dapat dimanfaatkan sebatas

sebagai pakan basal dan tidak mampu memenuhi kecukupan nutrisi untuk produksi (Peripolli et al., 2016). Kecernaan yang rendah pada limbah jerami disebabkan struktur jaringan penyangga tanaman yang sudah tua dan sudah mengalami proses lignifikasi, sehingga lignoselulosa dan lignohemiselulosa sulit untuk dicerna (Balasubramanian, 2013). Hambatan utama pada perubahan biologis lignoselulosa adalah kemampuan lignin untuk bertahan terhadap degradasi oleh enzim selulolitik. Hambatan tersebut dapat diatasi salah satunya dengan memanfaatkan potensi kemampuan biologis oleh mikroba tertentu seperti fungi. Fungi memiliki kemampuan mengganggu dinding sel tanaman dengan pemecahan sebagian kompleks lignin-karbohidrat (Keller et al., 2003) sehingga meningkatkan ketersediaan energi yang dapat difermentasi untuk mikroba ruminal (Akin et al., 1993). Seiring dengan perkembangan bioteknologi, berbagai metode mulai dari yang sederhana sampai kompleks telah dimanfaatkan dalam proses biokonversi limbah guna mendapatkan nilai tambah dari bahan limbah tersebut menjadi pakan ternak.

Metode perlakuan biologis dapat dikelompokkan ke dalam perlakuan dengan bakteri, jamur (Madadi & Abbas, 2017) dan enzimatik (Taha et al., 2010). Metode biologis dikerjakan dengan memanfaatkan agen biologis, baik mikroorganisme atau enzim yang diekskresikan oleh mikroorganisme. Metode ini biasanya tidak melibatkan asam, alkali, atau spesies reaktif (Haghighi et al., 2013; Zheng et al., 2014; Ravindran & Jaiswal, 2016).

Tabel 2. Jenis fungi dan manfaatnya dalam degradasi limbah pertanian

Jenis Limbah	Fungi	Manfaat	Pustaka
Jerami padi	<i>Trichoderma reesei</i>	Penurunan selulose menjadi 15,9%, hemiselulose 0,9% dan lignin 12%.me tingkatkan produksi biogas sebesar 20,8% dan penurunan silika 30%	Phutela et al., 2011
Jerami padi	<i>Trichoderma sp., Aspergillus sp.</i>	Penurunan lignin menjadi 7%, penurunan selulosa menjadi 7%	Setiarto, 2013
Jerami padi	<i>Trichoderma viride</i>	Penurunan selulose sampai 21%, penurunan lignin sebesar 11%	Ghorbani et al., 2015
Jerami padi	<i>Aspergillus niger dan Trichoderma sp</i>	Penurunan serat kasar menjadi 35,118%	Sukaryani et al., 2016
Jerami padi	5% <i>Aspergillus niger</i> + 8% <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Peningkatan kadar protein 15,535 %, penurunan lignin menjadi 4,86%	Supriyatna, 2017
Jerami jagung	<i>Trametes versicolor</i>	Degradasi lignin 34.8% dan hemiselulose 21.9%	Zhu et al., 2011
Jerami jagung	<i>Irpex lacteus</i>	Degradasi lignin sebesar 43,8%	Song et al., 2013
Jerami jagung	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Degradasi lignin sebesar 15,0%, selulose 41,9% dan hemiselulose 13,5%	Khan et al., 2015
Jerami jagung	<i>Aspergillus favus dan Emericella nidulans</i>	Degradasi lignin sebesar 14.4% dan 21%	Barapatre and Jha, 2017
Jerami jagung	<i>Ceriporiopsis subvermispora</i>	Peningkatan degradasi lignin sampai 20,7%, degradasi hemicellulose 14.5% dan cellulose 12.6%,	Huang et al., 2019
Jerami gandum	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Degradasi lignin 35%	Hatakka, 1983
Jerami gandum	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Degradasi lignin 10,9%, hemiselulose 26,3% dan selulose 45,3%	Mahesh & Mohini, 2013
Jerami gandum	<i>Irpex lacteus</i>	Degradasi lignin 45,8%	García-Torreiro, et al., 2016
Jerami gandum	<i>Ganoderma lucidum</i>	Degradasi lignin 58,5%	Ćilerdžić et al., 2017
Jerami gandum	<i>Ceriporiopsis subvermispora, Irpex lacteus, Phanerochaete chrysosporium dan Trametes hirsuta</i>	Degradasi lignin 41,3%, selulose 17,3% dan hemiselulose 40,3%	Vasco-Correa & Shah, 2019

Menurut Subba-Rao (1994) terdapat lebih kurang 2000 jenis bakteri dan 50 jenis fungi yang mampu melakukan degradasi

selulose, hemiselulose dan lignin. Namun demikian kemampuan bakteri untuk mendegradasi dinding sel yang kaya akan

lignin lebih terbatas jika dibandingkan dengan golongan fungi yang bersifat lignoselulolitik (Eriksson et al., 1990; Martinez et al., 2005).

Pemanfaatan fungi sebenarnya merupakan metode konvensional yang telah lama digunakan karena memiliki beberapa kelebihan seperti sedikit membutuhkan energi, kisaran temperatur 25–300 C dan tanpa penambahan bahan kimia yang dapat menimbulkan korosi (Wan & Li, 2012). Prinsip dasar metode tersebut adalah memecah atau melonggarkan ikatan kompleks lignin-selulosa atau lignin-hemiselulosa melalui dekomposisi lignin. Metode biologis dilakukan dengan memanfaatkan aktivitas mikroba karena diharapkan mampu mendegradasi serat secara lebih efisien sehingga dapat meningkatkan nilai nutrisinya. Fungi yang saat ini banyak dimanfaatkan untuk mendegradasi serat dan meningkatkan kualitas nutrisi jerami adalah *Pleurotus ostreatus* (Taniguchi et al., 2005), *Trametes versicolor* (Ramirez-Bribiesca et al., 2011), *Penicillium* sp. (Wulandari et al., 2013), *Trichoderma viride* (Ghorbani et al., 2015), *Phanerochaete chrysosporium*, *Coriolus versicolor* (Yadav & Wati, 2016) Fungi yang telah banyak dimanfaatkan untuk mendegradasi serat asal limbah pertanian disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. menunjukkan variasi kemampuan fungi secara efektif melalui sintesis enzim ligninolitik dalam mendegradasi lignin berbagai macam limbah seperti jerami padi, jerami jagung dan jerami gandum. Variasi tersebut dipengaruhi oleh berbagai macam faktor yaitu strain jamur (Madadi & Abbas, 2017), konsentrasi inokulum (Islamiyati et al., 2013), kadar air

(Zhu et al., 2011), aerasi, pH (Cheng et al., 2008), suhu, suplemen dan waktu inkubasi (Kong et al., 2017). Meskipun demikian tidak semua fungi dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan nilai nutrisi limbah pertanian. Berbagai macam fungi yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan nilai nutrisi limbah jerami padi, jerami jagung maupun jerami gandum tersaji pada tabel 2. Jenis fungi yang paling banyak dimanfaatkan adalah kelompok white rot fungi karena dianggap paling efektif dalam mendegradasi lignin. Menurut Lamba et al. (2003), white-rot fungi paling efektif untuk delignifikasi karena kemampuannya yang tinggi dalam memproduksi enzim oksidatif ekstraseluler ligninolitik. Beberapa contoh degradasi lignin oleh white-rot fungi ditunjukkan pada tabel 2 seperti *Ceriporiopsis subvermispora* (Vasco-Correa & Shah, 2019), *Pleurotus ostreatus* (Mahesh & Mohini, 2013) dan *Trametes versicolor* (Zhu et al., 2011). Efektivitas white-rot fungi dalam mendegradasi lignin didukung oleh kemampuannya menghasilkan enzim ligninolitik berupa lignin peroxidase (Gai et al., 2014), manganese peroxidase (Arora et al., 2002), dan laccase (Niladevi et al., 2007) serta mengolah lignin menjadi produk akhir berupa CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Schoenherr et al., 2018).

Proses degradasi lignin diawali saat white rot fungi menembus dan membentuk koloni dalam sel jerami kemudian diikuti dengan pengeluaran enzim yang berdifusi melalui lumen dan dinding sel. White rot fungi menyerang komponen lignin jerami hingga tinggal menyisakan selulosa dan hemiselulosa. Proses tersebut mengakibatkan penurunan kekuatan fisik, pembengkakan dan pada akhirnya terjadi pelunakan jaringan jerami



(Falade et al., 2016). Raghuwanshi et al. (2014) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa kombinasi berbagai enzim lignoselulitik dalam white rot fungi dan penggunaan tannase dari *Penicillium charlesii* mampu memfermentasi jerami gandum dalam waktu yang singkat. Su et al., (2018) menyatakan bahwa metode biologis bersifat aman, ramah lingkungan, mudah dikerjakan dengan biaya yang tidak mahal.

### KESIMPULAN

Kandungan limbah pertanian seperti jerami padi, jagung dan gandum didominasi oleh lignin, selulosa dan hemiselulosa yang merupakan faktor pembatas sebagai pakan ternak. Metode biologis dengan memanfaatkan fungi merupakan metode yang mampu meningkatkan kualitas pakan asal limbah pertanian karena kemampuan dalam mendegradasi lignin melalui sintesis enzim ligninolitik. Penggunaan fungi pada metode biologis bersifat aman, ramah lingkungan, mudah dikerjakan dan murah.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Rahman, H.H., A.A. Abedo, Y.A.A. El-Nameary, S.S. Abdel-Magid, & M.I. Mohamed. 2014. Effect of Biological Treatments of Rice Straw on Growth Performance, Digestion and Economical Efficiency for Growing Calves. *Global Veterinaria*. 13, 47-54. DOI:10.5829/idosi.gv.2014.13.01.84234
- Abdel-Aziz, N.A., A.Z.M. Salem, M.M. El-Adawy, L.M. Camacho, A.E. Kholif, M.M.Y. Elghandour, & zB.E. Borhami. 2015. Biological treatments as a mean to improve feed utilization in agriculture animals-An overview. *Journal of Integrative Agriculture*. 14, 534-543. DOI: 10.1016/S2095-3119(14)60829-7
- Adapa, P., L. Tabil, & G. Schoenau. 2009. Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw. *Biosystems Engineering*. 104, 335-344. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.06.022>
- Akin, D.E., A. Sethuraman, III.W.H. Morrison, S.A. Martin, & K. Erickson. 1993. Microbial delignification with white-rot fungi improves forage digestibility. *Appl. Environ. Microbiol*. 59, 4274-4282.
- Arora, D.S., M. Chander, & P. Bajwa. 2002. Involvement of lignin peroxidase, manganese peroxidase and laccase in degradation and selective ligninolysis of wheat straw. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 50, 115-120 DOI: 10.1016/S0964-8305(02)00064-1
- Arroyo, D. 2000. Gasification of Lignin from Rice Straw. University of Puerto Rico. Mayaguez Campus National Renewable Energy Laboratory Golden, Colorado. 80401.
- Azizi, A., M.R.G. Maia, A.J.M. Fonseca, A. Sharifi, H. Fazaeli, & A.R.J. Cabrita. 2018. Rumen fermentation of lignocellulosic biomass from wheat straw and date leaf inoculated with bacteria isolated from termite gut. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 27, 211-218 <https://doi.org/10.22358/jafs/92423/2018>
- Balasubramanian, M.K. 2013. Potential utilization of rice straw for ethanol production by sequential fermentation of cellulose and xylose using *Saccharomyces cerevisiae* and *Pachysolen tannophilus*. *International Journal of Science, Engineering,*

- Technology and Research. 2, 1531-1535.
- Ballesteros, I., M.J. Negro, J.M. Oliva, A. Cabanas, P. Manzanare, M. Ballesteros. 2006. Ethanol production from steam-explosion pretreated wheat straw. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 129, 129–132. DOI: 10.1007/978-1-59745-268-7\_41
- Barapatre, A., & H. Jha. 2017. Degradation of alkali lignin by two ascomycetes and free radical scavenging activity of the products. *Biocatal Biotransformation.* 35, 269–286. <https://doi.org/10.1080/10242422.2017.1327953>
- Berlin, A., N. Gilkes, A. Kurabi, R. Bura, M. Tu, D. Kilburn, & J. Saddler. 2005. Weak lignin-binding enzymes: a novel approach to improve activity of cellulases for hydrolysis of lignocellulosics. *Appl Biochem Biotechnol.* 121-124:163-170. DOI:10.1385/abab:121:1-3:0163
- Bodie, A.R., A.C. Micciche, G.G. Atungulu, M.J. Rothrock, & S.C. Jr., Ricke. 2018. Current Trends of Rice Milling Byproducts for Agricultural Applications and Alternative Food Production Systems. *Front. Sustain. Food.* 3, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00047>
- Carere, C.R., R. Sparling, N. Cicek, & D.B. Levin. 2008. Third generation biofuels via direct cellulose fermentation. *International journal Molecula Science.* 9, 1342–1360. doi:10.3390/ijms9071342
- Caton, J.S., D.O. Erickson, D.A. Carey, & D.L. Ulmer. 1993. pasture in situ degradability, and duodenal amino acid flow in steers grazing cool-season Influence of *Aspergillus oryzae* fermentation extract on forage intake, site of digestion. *J. Anim. Sci.* 71, 779-787. <https://doi.org/10.2527/1993.713779x>
- Chen, W.H., Pen, B.L., Yu, C.T., Hwang, W.S. 2011. Pretreatment efficiency and structural characterization of rice straw by an integrated process of dilute-acid and steam explosion for bioethanol production. *Bioresour. Technol.* 102, 2916–2924. doi: 10.1016/j.biortech.2010.11.052.
- Cheng, K.K., Cai, B.Y., Zhang, J.A., Ling, H.Z., Zhou, Y.J., Ge, J.P., Xu, J.M. 2008. Sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysate for ethanol production by acid recovery process. *Biochem Eng J.* 38,105-109. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.07.012>
- Ćilerdžić, J., Galić, M., Vukojević, J., Brčeski, I., Stajić, M. 2017. Potential of selected fungal species to degrade wheat straw, the most abundant plant raw material in Europe. *BMC Plant Biology.* 17, 76-103. DOI 10.1186/s12870-017-1196-y
- Coblentz, W.K., Abdelgadir, I.E.O., Cochran, R.C., Fritz, J.O., Fick, W.H., Olson, K.C., Turner, J.E. 1999. Degradability of Forage Proteins by In Situ and In Vitro Enzymatic Methods. *J Dairy Sci.* 82, 343–354. DOI:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75241-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75241-0)
- Demirbas, A. 2005. Bioethanol from cellulosic materials: A renewable motor fuel from biomass. *Energy Sources.* 27, 327-337. <http://dx.doi.org/10.1080/00908310390266643>
- Dewi. 2002. Hidrolisis Limbah Hasil Pertanian Secara Enzimatik. *Akta Agrosia.* 2, 67 – 71.
- Dunier, L., Jin, L., Smiley, B., Qi, M., Rutherford, W., Wang, Y., McAllister, T. 2015. Impact of adding *Saccharomyces* strains on fermentation, aerobic stability, nutritive value, and select lactobacilli populations in corn silage. *J. Anim. Sci.* 93, 2322-2335. doi:10.2527/jas2014-8287
- El-Ashry, M.A., El-Sayed, H.M., Fadel, M., Metwally, H.M. Khorshed, M.M. 2002. Effect of chemical and biological treatments of some crop-residues on their nutritive value: 2- Effect of biological treatment on chemical

- composition and in vitro disappearance. Egypt. J. Nutr. and Feeds. 5, 43-54.
- Eriksson, K.E., Blanchette, R.A., Ander, P. 1990. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. In Springer Series in Wood Science Springer-Verlag, Heidelberg, Germany 407
- Eun, J.S., Beauchemin, K.A., Hong, S.H., Bauer, M.W. 2006. Exogenous enzymes added to untreated or ammoniated rice straw : Effect on in vitro fermentation characteristic and degradability. J. Anim. Sci. and Tech. 131, 86-101. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.026>
- Falade, A.O., Nwodo, U.U., Iweriebor, B.C., Green, E., Mabinya, L.V., Okoh, A.I. 2016. Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. Microbiology Open. 2016, 1–14. DOI: 10.1002/mbo3.394
- Fernandez, I., Martin, C., Champion, M., Michalet-Doreau, B. 2004. Effect of corn hybrid and chop length of whole-plant corn silage on digestion and intake by dairy cows. J. Dairy Sci. 87, 1298–1309. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73279-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73279-8)
- Filley, T.R., Cody, G.D., Goodell, B., Jellison, J., Noser, C., Ostrofsky, A. 2002. Lignin demethylation and polysaccharide decomposition in spruce sapwood degraded by brown rot fungi. Org Geochem. 33, 111-124. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(01\)00144-9](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(01)00144-9)
- Fredriksz, S., Soejono, M., Budhi, S.P.S. 2001. Pengaruh ukuran partikel dan pencucian terhadap degradasi in sacco beberapa bahan pakan pada sapi peranakan friesland holstein. Jurnal Sains & Teknologi. 11, 163-169.
- Gai, Y.P., Zhang, W.T., Mu, Z.M., Ji, X.L. 2014. Involvement of ligninolytic enzymes in degradation of wheat straw by *Trametes trogii*. Journal of Applied Microbiology. 117, 85—95. doi:10.1111/jam.12529
- García-Torreiro, M., López-Abelairas, M., Lu-Chau, T.A., Lema, J.M. 2016. Fungal pretreatment of agricultural residues for bioethanol production. Industrial Crops and Products.89, 486-492. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.05.036
- Ghorbani, F., Karimi, M., Biria, D., Kariminia, H.R., Jeihanipour, A. 2015. Enhancement of Fungal Delignification of Rice Straw by *Trichoderma viride* sp. to improve its saccharification. Biochem Eng J 101, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.05.005>
- Haghighi, M.S, Hossein, G.A., Tabatabaei, M., Salehi, J.G., Najafi, G.H., Gholami, M., Ardjmand, M. 2013. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 27, 77-93. DOI: 10.1016/j.rser.2013.06.033
- Han, M.J., Choi, H.T., Song, H.G. 2004. Degradation of Phenanthrene by *Trametes versicolor* and Its Laccase. The Journal of Microbiology. 42, 94-98.
- Hatakka, A.I. 2000. Biodegradation of Lignin. University of Helsinki, Viikki Biocenter, Department of Applied Chemistry dan Microbiology. Helsinki.
- Hatakka, A.I. 2005. Biodegradation of lignin. Biopolymers Online. <https://doi.org/10.1002/3527600035.bpo11005>
- Hatakka, A.I. 1983. Pretreatment of wheat straw by white-rot fungi for enzymic saccharification of cellulose. Appl Microbiol Biotechnol. 18, 350-357. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00504744>
- Howard, R.L., Abotsi, E., Jansen van Rensburg E.L., and Howard, S. 2003. Lignocellulose Biotechnology: Issue of Bioconversion and Enzyme Production. African J. of Biotech. 2, 602-619. DOI: 10.5897/AJB2003.000-1115

- Huang, H., Wang, Z., Pan, S.C., Shoup, L.M., Felix, T.L., Perkins J.B., May, O., Singh, V. 2019. Fungal Pretreatment To Improve Digestibility Of Corn Stover For Animal Feed. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 60, 973-979. DOI 10.13031/trans.12042
- Iqbal, H.M.N., Ahmed, I., Zia, M.A. , Irfan, M. 2012. Purification and characterization of the kinetic parameters of cellulase produced from wheat straw by *Trichoderma viride* under SSF and its detergent compatibility. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2, 149-156. doi:10.4236/abb.2011.23024
- Ishihara, M., & Shimizu, K. 1984. Purification and properties of two extracellular endocellulases from the brown-rotting fungus *Tyromyces palustris*. *Mokuzai Gakkaishi* 30, 79–87.
- Isikgor, F.H., & Becer, C.R. 2015. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. *Polym Chem*. 6,4497–4559. <https://doi.org/10.1039/C5PY00263J>
- Islamiyati, R., Rasjid, S., Natsir, A., Ismartoyo. 2013. Crude Protein And Fiber Fraction Of Corn Stover Inoculated By Fungi *Trichoderma Sp.* And *Phanerochaete Chrysosporium*. *International Journal Of Scientific & Technology Research*. 2, 149-152
- Jackson, M.G. 1977. Review article: The alkali treatment of straws. *Animal Feed Science and Technology*. 2, 105-130. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(77\)90013-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(77)90013-X)
- Janusz, G., Pawlik, A., Sulej, J., Swiderska-Burek, U., Jarosz-Wilkolazka, A., Paszczynski, A. 2017. Lignin degradation: Microorganisms, enzymes involved, genomes analysis and evolution. *FEMS Microbiol. Rev*. 41, 941–962. doi: 10.1093/femsre/fux049.
- Jia, L., Sun, Z., Ge, X., Xin, D., Zhang, J. 2013. Comparison of the delignifiability and hydrolysability of wheat straw and corn stover in aqueous ammonia pretreatment. *BioRes*. 8, 4505-4517.
- Jibrin, M.U., Amony, M.C., Akonyi, N.S., Oyeleran, O.A. 2013. Design and Development of a Crop Residue Crushing Machine. *International Journal of Engineering Inventions* 2, 28-34.
- Jung, H.G., Allen, M.S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J Anim Sci*. 73, 2774-2790. DOI:10.2527/1995.7392774x
- Kang, S., Li, X., Fan, J., Chang, J. 2013. Hydrothermal conversion of lignin: A review. *Renew Sustainable Energy Rev*. 27, 546-558. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.013>
- Keller, F.A., Hamillton, T.E., Nguyen, Q.A. 2003. Microbial pretreatment of biomass potential for reducing severity of thermo-chemical biomass pretreatment. *Appl. Biochem. Biotechnol*. 105, 27–41. DOI:10.1385/abab:105:1-3:27
- Khan, N.A., Hussain, S., Ahmad, N., Alam, S., Bezabhi, M., Hendriks, W.H., Yu, P., Cone, J.W. 2015. Improving the feeding value of straws with *Pleurotus ostreatus*. *Animal Production Science*. 55, 241–245 <http://dx.doi.org/10.1071/AN14184>
- Khanday, Z.B., Cauhan, P., Dey, D., Malik, R., Pradhan, D., Goyal, C. 2018. A review on fermentation quality of paddy straw silage. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 6, 1184-1887.
- Khatri, S., Wu, S.; Kizito, S., Zhang, W., Li, J., Dong, R. 2015. Synergistic Effect of Alkaline Pretreatment and Fe Dosing on Batch Anaerobic Digestion of Maize Straw. *Appl. Energy*. 158, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.045>
- Kim, D., Ximenes, E.A., Nichols, N.N., Cao, G., Frazer, S.E., Ladisch, M.R. 2016. Maleic acid treatment of biologically

- detoxified corn stover liquor. *Bioresour. Technol.* 216, 437–445. doi: 10.1016/j.biortech.2016.05.086.
- Kim, T.H., Kim, J.S., Sunwoo, C. Lee, Y.Y. 2003. Pretreatment of Corn Stover by Aqueous Ammonia. *Bioresource Technology.* 90, 39-47. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00097-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00097-X)
- Kong, W., Fu, X., Wang, L., Alhujaily, A., Zhang, J., Ma, F., Zhang, X., Yu, H. 2017. A novel and efficient fungal delignification strategy based on versatile peroxidase for lignocellulose bioconversion. *Biotechnol Biofuels* 10, 218. doi:10.1186/s13068-017-0906-x
- Kumar, A., Gaiind, S., Nain, L. 2008. Evaluation of thermophilic fungal consortium for paddy straw composting. *Biodegradation.* 19, 395-402. DOI:10.1007/s10532-007-9145-3
- Kumar, P., Barrett, D.M., Delwiche, M.J., Stroeve, P. 2009. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 48, 3713-3729. DOI: 10.1021/ie801542g
- Lamba, J.S., Wadhwa, M., Gangwar, M., Bakshi, M.P.S. 2003. Biodegradation of Wheat Straw by White Rot Fungi. *Animal Nutrition and Feed rechnology.* 3, 125-130
- Lee, S.M., Guan, L.L., Eun, J.S., Kim, C.H., Lee, S.J., Kim, E.T., Lee, S.S. 2014. The effect of anaerobic fungal inoculation on the fermentation characteristics of rice straw silages. *Journal of Applied Microbiology.* 118, 565—573. <https://doi.org/10.1111/jam.12724>
- Leng, R.A. 1991. Application of Biotechnology to Nutrition of Animals in Developing Countries. FAO, Rome.
- Leonowicz, A., Matuszewska, A., Luterek, J., Ziegenhagen, D., Wojtas'-Wasilewska, M., Nam-Seok, C., Hofrichter, M., Rogalski, J. 1999. Review Biodegradation of Lignin by White Rot Fungi. *Fungal Genetics and Biology.* 27, 175–185. <https://doi.org/10.1006/fgbi.1999.1150>
- Madadi, M., Abbas, A. 2017. Lignin Degradation by Fungal Pretreatment: A Review. *J Plant Pathol Microbiol.* 8, 1-6 DOI: 10.4172/2157-7471.1000398
- Maharani, D.M., Normalasari, L., Kumalasari, D., Prakoso, C.A.H., Kusumaningtyas, M., M.T.Ramadhan. 2017. The Effect of Alkalization-Resistive Heating Pretreatment on Lignocellulose Content of Rice Straw. *Agritech,* 37, 132-138. DOI: <http://doi.org/10.22146/agritech.25326>
- Mahesh, M.S. Mohini, M. 2013. Biological treatment of crop residues for ruminant feeding: A review. *African Journal of Biotechnology* 12, 4221-4231. DOI: 10.5897/AJB2012.2940
- Manjunath, B.L. 2008. Selection of scented rice (*Oryzasativa*) and its value-addition for higher profitability. *Indian Journal of Agricultural Science.* 78, 663-666
- Mansfield, S.D., Saddler, J. N., Gubitza, G.M. 1998. Characterization of endoglucanases from the brown rot fungi *Gloeophyllum sepiarium* and *Gloeophyllum trabeum*. *Enzyme Microb Technol* 23, 133–140. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(98\)00033-7](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(98)00033-7)
- Martinez, A.T., Speranza, M., Ruiz-Duenas, F. J., Ferreira, P., Camarero, S., Guillen, F., Martinez, M. J., Guttirez, A., Del Rio, J.C. 2005. Biodegradation of lignocellulosics: Microbial, chemical and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *International Microbiology* 8, 195–204. DOI:10.13039/501100003339
- Matias, J., Cruz, V., García, A., González, D. 2019. Evaluation of Rice Straw Yield, Fibre Composition and Collection Under Mediterranean Conditions *Acta Technologica Agriculturae* 2 Nitra,

- Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae. 43–47
- McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*. 83, 37-46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- Moore, K.J., Jung, H.G. 2001. Lignin and fiber digestion. *J. Range Manage.* 54, 420–430. DOI: 10.2307/4003113
- Nasri-Nasrabadi, B., Behzad, T., Bagheri, R. 2014. Extraction and Characterization of Rice Straw Cellulose Nanofibers by an Optimized Chemomechanical Method. *J. Appl. Polym. Sci.* 40063: 1-7. DOI: 10.1002/APP.40063
- Ni, K., Wang, Y., Pang, H., Cai, Y. 2014. Effect of Cellulase and Lactic Acid Bacteria on Fermentation Quality and Chemical Composition of Wheat Straw Silage. *American Journal of Plant Sciences*. 5, 1877-1884. doi: 10.4236/ajps.2014.513201.
- Niladevi, K.N., Sukumaran, R.K., Prema, P. 2007. Utilization of rice straw for laccase production by *Streptomyces psammoticus* in solid state fermentation. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 34, 665-74. DOI: 10.1007/s10295-007-0239-z
- Niu, W., L. Han., X. Liu., G. Huang., L. Chen., W. Xiao., Z. Yang. 2016. Twenty-two compositional characterizations and theoretical energy potentials of extensively diversified China's crop residues. *Energy* 100, 238-250. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.01.093>
- Orskov, E.R., Ojwang, I., Reid, G.W. 1988. A study of consistency of difference between cows in rumen out flow rate of fibrous particles and other substrates and consequence for digestibility and intake of roughages. *Anim. Prod.* 47, 45 – 51. DOI: <https://doi.org/10.1017/S000335610003703X>
- Patel M.M., Bhatt, R.M. 1992. Optimisation of the alkaline peroxide pretreatment for the delignification of rice straw and its applications. *J Chem Technol Biotechnol*. 53, 253-263. <https://doi.org/10.1002/jctb.280530306>
- Perez, J., Dorado, J.M., Rubia, T., Martinez, J. 2002. Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin: An Overview. *Int. Microbiol.* 5, 53–63. DOI:10.1007/s10123-002-0062-3
- Peripolli, V., Barcellos, J.O.J., Prates, Ê.R., McManus, C., da Silva, L.P., Stella, L.A., Junior, J.B.G. C., Lopes, R.B. 2016. Nutritional value of baled rice straw for ruminant feed. *R. Bras. Zootec.* 45, 392-399. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902016000700006>
- Phutela, U.G., Sahni, N., Sooch S.S. 2011. Fungal degradation of paddy straw for enhancing biogas production. *Indian J.Sci.Technol.* 4, 660-665. DOI: 10.17485/ijst/2011/v4i6/30087
- Pointing, S.B. 2001. Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Appl Microbiol Biotechnol* 57, 20–33. DOI 10.1007/s002530100745
- Raghuwanshi, S., Misra, S., Saxena, R.K. 2014. Treatment of wheat straw using tannase and white-rot fungus to improve feed utilization by ruminants. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 5, 1-8. doi: 10.1186/2049-1891-5-13.
- Ramirez-Bribiesca, J.E., Wang, Y., Jin, L., Canam, T., Town, J.R., Tsang, A., Dumonceaux, T.J. McAllister, T.A. 2011. Chemical characterization and in vitro fermentation of Brassica straw treated with the aerobic fungus, *Trametes versicolor*. *Can. J. Anim. Sci.* 91, 1-8. doi:10.4141/CJAS2011-067
- Ramulu, C., Pateriya, R.N., Deepshika, A. 2018. Machinery for residue management of different crops: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7, 2203-2207.
- Ravindran, R., Jaiswal, A.K. 2016. A comprehensive review on pre-treatment

- strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities. *Bioresource Technology*. 199, 92-102. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.07.106
- Rizali, A., Fahcianto, Ansari, M.H., Wahdi, A. 2018. Utilization of Waste of Midrib and Palm Oil Leaves Through Fermentation of *Trichoderma* sp. As Beef Catlle Feed. *EnviroScienteeae* 14, 1-7.
- Saha, B.C. 2004. Lignocellulose Biodegradation and Application in Biotechnology. US Government Work. American Chemical Society. 2-14.
- Sangnark, A., Noomhorm, A. 2004. Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. *Food Research International*. 37, 66–74. doi:10.1016/j.foodres.2003.09.007
- Sarkar, N., Ghosh, S.K., Bannerjee, S., Aikat, K. 2012. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy*. 37, pp.19–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.045>.
- Schoenherr, S., Ebrahimi, M., Czermak, P. 2018. Lignin Degradation Processes and the Purification of Valuable Products. In book: *Lignin - Trends and Applications* <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.71210>.
- Selim, A.S.M., Pan, J., Takano, T., Suzuki, T., Koike, S., Kobayashi, Y. Tanaka, K. 2004. Effect of ammonia treatment on physical strength of rice straw, distribution of straw particles and particle-associated bacteria in sheep rumen. *Animal Feed Science and Technology*. 115, 117-128. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.01.011>
- Setiarto, R.H.B. 2013. Prospek Dan Potensi Pemanfaatan Lignoselulosa Jerami Padi Menjadi Kompos, Silase Dan Biogas Melalui Fermentasi Mikroba. *Jurnal Selulosa*. 3, 51 – 66. DOI: <http://dx.doi.org/10.25269/jsel.v3i02.44>
- Shah, T.A., Ullah, R. 2019. Pretreatment of Wheat Straw with Ligninolytic Fungi for Increased Biogas Productivity. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 1–12. DOI: 10.1007/s13762-019-02277-8
- Shawky, B.T., Mahmoud, M.G., Ghazy, E.A. Asker M.M.S. and Ibrahim G.S. 2011. Enzymatic hydrolysis of rice straw and corn stalks for monosugars production. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 9, 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2011.05.001>
- Sheng, T., Zhao, L., Liu, W.Z., Gao L.F., Wang, A.J. 2017. Fenton pre-treatment of rice straw with citric acid as an iron chelate reagent for enhancing saccharification. *RSC Adv*. 7, 32076–32086. DOI: 10.1039/c7ra04329e
- Siqueira, G., Bras, J., Dufresne, A. 2010. Cellulosic Bionanocomposites: A Review of Preparation, Properties and Applications. *Polymers*. 2, 728-765. <https://doi.org/10.3390/polym2040728>
- Song, L., Yu, H., Ma, F., Zhang, X. 2013. Biological pretreatment under non-sterile conditions for enzymatic hydrolysis of corn stover. *Bioresour* 8, 3802-3816. DOI: 10.15376/biores.8.3.3802-3816
- Speratti, A.B., Johnson, M.S., Martins Sousa, H., Nunes Torres, G., Guimarães Couto, E. 2017. Impact of Different Agricultural Waste Biochars on Maize Biomass and Soil Water Content in a Brazilian Cerrado Arenosol. *Agronomy*. 7, 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030049>
- Su, Y., Yu, X., Sun, Y., Wang, G., Chen, H., Chen, G. 2018. Evaluation of Screened Lignin-degrading Fungi for the Biological Pretreatment of Corn Stover. *Sci Rep*. 8, 1-11. doi:10.1038/s41598-018-23626-6
- Subba-Rao, N.S. 1994. *Mikroba Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Jakarta: Universitas Indonesia Press

- Sukaryani, S., Yakin, E.A., Harinta, Y.W. 2016. Fermentasi Jerami Padi Menggunakan Dua Macam Jamur Yang Berbeda Terhadap Kandungan Nutrisi. Seminar Nasional Hasil Penelitian 2016 Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas PGRI Semarang. Oktober 2016
- Supriyatna, A. 2017. Peningkatan Nutrisi Jerami Padi Melalui Fermentasi dengan menggunakan Konsorsium Jamur *Phanerochaete Chrysosporium* dan *Aspergillus Niger*. *Jurnal ISTEK*. 10, 166-181.
- Taha, M., Shahsavari, E., Al-Hothaly, K., Mouradov, A., Smith, A.T. Ball, A.S, Adetutu, E.M. 2015. Enhanced biological straw saccharification through coculturing of lignocellulose-degrading microorganisms. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 175, 3709-3728. DOI: 10.1007/s12010-015-1539-9
- Tang, S.X., Tayo, G.O., Tan, Z.I., Sun, Z.H., Shen, L.X., Zhou, C.S., Xiao, W.J., Ren, G.P., Han, X.F., Shen, S.B. 2008. Effect of Yeast Culture and Fibrolytic Enzyme Supplementation on in Vitro Fermentation Characteristics of Low-Quality Cereal Straw. *J.Anim.Sci*. 86, 1164-1172. doi: 10.2527/jas.2007-0438.
- Taniguchi, M., Suzuki, H., Watanabe, D., Sakai, K., Hoshino, K., Tanaka, T. 2005. Evaluation of pretreatment with *Pleurotus ostreatus* for enzymatic hydrolysis of rice straw. *J. Biosci. Bioeng*. 100, 637-643. <https://doi.org/10.1263/jbb.100.637>
- Tufail, T., Saeed, F., Imran, M., Arshad, M.U., Anjum F.M., Afzaal, M., Ul Ain, H.B., Shahbaz, M., Gondal, T.A., Hussain, S. 2018. Biochemical characterization of wheat straw cell wall with special reference to bioactive profile, *International Journal of Food Properties*. 21, 1303-1310, DOI: 10.1080/10942912.2018.1484759
- Valaskova, V., Baldrian, P. 2006. Degradation of cellulose and hemicelluloses by the brown rot fungus *Piptoporus betulinus* – production of extracellular enzymes and characterization of the major cellulases. *Microbiology*. 152, 3613-3622. DOI 10.1099/mic.0.29149-0
- Van Soest, P.J. 1985. Definition of fiber animal feed. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Heresign, W and D.J.A. Cole (Ed.). Butterworths, London. 113 – 129.
- Van Soest. P.J. 2006. Rice straw, the role of silica and treatments to improve quality. *Animal Feed Science and Technology*. 130, 137-171. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2006.01.023
- Vasco-Correa, J., Shah, A. 2019. Techno-Economic Bottlenecks of the Fungal Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. *Fermentation*. 5, 1-23. doi:10.3390/fermentation5020030
- Wan, C., Li, Y. 2012. Fungal pretreatment of lignocellulosic biomass. *Biotechnol. Adv*. 30, 1447-1457. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.03.003>
- Wina, E. 2005. Teknologi Pemanfaatan Mikroorganisme Dalam Pakan Untuk Meningkatkan Produktivitas Ternak Ruminansia Di Indonesia: Sebuah Review. *Wartazoa*. 15, 173-186
- Wulandari, A.P., Triyana, T., Andayaningsih, P. 2013. Delignification of Rice Straw with Ligninase from Novel *Penicillium* sp. strain apw-tt2 for Biopulping. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*. 3, 43-46. DOI: 10.7763/IJBBB.2013.V3.160
- Yadav, D., Wati L. 2016. Microbial Delignification And Hydrolysis Of Paddy Straw For Ethanol Production. *Agric Res J*. 53, 528-531. DOI No. 10.5958/2395-146X.2016.00105.8
- Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F., Li, Y. 2014. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production.



Progress in Energy and Combustion Science. 42, 35-53. DOI: 10.1016/j.pecs.2014.01.001

- Zhu, W., Wei, Z., Xu, N., Yang, F., Yoon, I., Chung, Y., Liu, J., Wang, J. 2017. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on performance and rumen fermentation and microbiota in dairy cows fed a diet containing low quality forage. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 8, 1-9. DOI 10.1186/s40104-017-0167-3
- Zhu, Y.S., Zhang, H.B., Zhang, Y.L., Huang, F. 2011. Lignocellulose degradation, enzyme production and protein enrichment by *Trametes versicolor* during solid-state fermentation of corn stover. *African Journal of Biotechnology*. 10, 9182-9192. DOI: 10.5897/AJB11.810
- Zhu, Y., Lee Y.Y., Elander, R.T. 2005. Optimization of dilute-acid pretreatment of corn stover using a high-solids percolation reactor. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 121–124, 1045-1054. DOI: 10.1385/ABAB:124:1-3:1045