

PENGARUH UKURAN POTONGAN TERHADAP PERTUMBUHAN JAMUR *Pleurotus floridanus* LIPIMC 996 DAN HASIL DELIGNIFIKASI SELAMA PERLAKUAN PENDAHULUAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Effects of Particle Size on the Growth of *Pleurotus floridanus* LIPIMC 996 and the Delignification of Oil Palm Empty Fruit Bunch during Pretreatment

Lukitawesa, Ria Millati, Muhammad Nur Cahyanto

Jurusan Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281
Email: ria_millati@ugm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran potongan terhadap pertumbuhan jamur *Pleurotus floridanus* LIPIMC 996 dan hasil delignifikasi selama perlakuan pendahuluan tandan kosong kelapa sawit (TKKS). TKKS dikecilkan ukurannya menjadi 0,5; 1; 2; 4; dan 8 cm, disterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit, diinokulasi dengan miselia *P. floridanus* LIPIMC 996 kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 35 hari. Setiap 7 hari, dilakukan pengambilan sampel untuk analisis lignin, selulosa, hemiselulosa, dan glukosamin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengecilan ukuran TKKS dari 8 cm hingga 2 cm memperlambat laju pertumbuhan jamur serta laju degradasi lignin dan selulosa sedangkan pada ukuran 1 cm dan 0,5 cm justru mempercepat. Pola laju degradasi lignin dan selulosa pada setiap ukuran potongan TKKS sama dengan pola laju pertumbuhan pada setiap ukuran potongan. Penurunan lignin terbesar terjadi pada TKKS dengan panjang 8 cm yaitu mencapai 79,7%. Degradasi selulosa mencapai 78,9% pada TKKS dengan panjang 8 cm. Selain itu, degradasi hemiselulosa mencapai 80,6% pada TKKS dengan ukuran 8 cm.

Kata kunci: Perlakuan pendahuluan, tandan kosong kelapa sawit, *Pleurotus floridanus* LIPIMC 996, pertumbuhan, delignifikasi, ukuran potongan

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the effects of particle size on the growth of *Pleurotus floridanus* LIPIMC 996 and the delignification of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) during pretreatment. The OPEFB was reduced its size to 0.5, 1, 2, 4, and 8 cm, sterilized at 121°C for 15 minutes, inoculated with *P. floridanus* LIPIMC 996 mycelia, and incubated in room temperature for 35 days. The lignin, cellulose, hemicellulose, and glucosamine content of OPEFB were analyzed every 7 days. Size reduction of OPEFB from 8 cm to 2 cm reduced the growth rate of *P. floridanus* LIPIMC 996 and degradation rate of lignin and cellulose, but reduction from 2 cm to 1 cm increased the fungal growth rate. The lignin and cellulose degradation rate from the various different fiber sizes showed the same trend. The elimination of lignin reached maximum 79.7% on day-35 for 8 cm-long OPEFB. The maximum of cellulose and hemicelluloses degradation were 78.9% and 80.6%, respectively.

Keywords: Pretreatment, oil palm empty fruit bunch, *Pleurotus floridanus* LIPIMC 996, growth, delignification, particle size

PENDAHULUAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu sumber permasalahan lingkungan. Setiap tahun, TKKS dihasilkan dalam jumlah yang besar sebagai hasil samping industri minyak sawit. TKKS menjadi masalah karena bentuknya yang meruah dan memerlukan tempat atau lahan penyimpanan yang besar. Jika diasumsikan dari setiap ton tandan buah segar kelapa sawit menghasilkan 215 kg TKKS (Kementerian Pertanian, 2006), TKKS yang dihasilkan Indonesia pada tahun 2009 adalah 4,25 juta ton (Kementerian Pertanian, 2011).

TKKS tersusun dari 50,4% selulosa, 21,9% hemiselulosa, 10% lignin, dan 17,7% komponen lain yang secara keseluruhan tersusun secara kompak (Umikalsom dkk., 1998). Struktur selulosa yang kristalin menyebabkan selulosa sulit terdegradasi secara kimiawi maupun biologis. Selain strukturnya, selulosa dilindungi oleh lignin sehingga semakin sulit untuk dihidrolisis. Dalam hal ini, lignoselulosa perlu mengalami delignifikasi terlebih dahulu untuk mempermudah kerja selulase dalam mendegradasi selulosa (Mosier dkk., 2005).

Untuk mempermudah hidrolisis, delignifikasi perlu dilakukan untuk mengurangi kandungan lignin dan membuka struktur selulosa menjadi lebih amorf. TKKS yang telah didelignifikasi menjadi lebih mudah dihidrolisis dengan selulase dibanding dengan yang tidak. Jika hidrolisis selulosa menjadi lebih mudah maka konversi selulosa menjadi bioetanol (Piarpuzan dkk., 2011) dan biogas (Nieves dkk., 2011) juga menjadi lebih mudah.

Delignifikasi dapat dilakukan secara fisikawi, kimiawi dan biologis. Keunggulan cara kimiawi dan fisikawi adalah waktu perlakuan yang cukup singkat. Namun, kekurangan dari kedua metode ini adalah biasanya menggunakan suhu dan tekanan yang tinggi atau kondisi-kondisi lain yang cukup ekstrim sehingga kurang ramah lingkungan. Delignifikasi biologis dapat dilakukan dengan menggunakan jamur pelapuk putih. Kelebihannya dibandingkan dengan metode secara fisik dan kimia adalah energi yang digunakan lebih rendah dan kondisi prosesnya lebih ramah terhadap lingkungan. Namun, kekurangannya adalah membutuhkan waktu yang lama (Alvira dkk., 2010).

Peningkatan kecepatan degradasi lignin oleh jamur genus *Pleurotus* dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan penambahan nutrisi untuk mempercepat pertumbuhan jamur (Camarero dkk., 1996), dan juga pengecilan ukuran substrat (Membrillo dkk., 2008). Dalam fermentasi kultur padat, ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses fermentasi yaitu porositas medium, ukuran partikel, luas permukaan, dan kadar air substrat (Bahrin dkk., 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran potongan terhadap pertumbuhan jamur *Pleurotus floridanus* LIPIMC 996 dan hasil delignifikasi selama perlakuan pendahuluan tandan kosong kelapa sawit (TKKS).

METODE PENELITIAN

Persiapan Inokulum

Inokulum yang digunakan untuk perlakuan pendahuluan TKKS adalah isolat *Pleurotus floridanus* strain LIPIMC 996 yang diperoleh dari koleksi kultur mikrobial LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia). Jamur disimpan pada medium PDA dalam cawan petri pada suhu 4°C. Inokulum diperbanyak dengan cara menginokulasikan miselia ke medium PDA.

Persiapan TKKS

TKKS dikecilkan ukurannya menjadi 0,5; 1; 2; 4; dan 8 cm. TKKS kering (kadar air \pm 10%) direndam dalam aquades selama 3 jam dan ditiriskan selama 1,5 jam, TKKS ditambah dengan larutan ammonium sulfat 20% (b/b) dan aquades hingga kadar airnya mencapai 70% dan rasio C/N 20.

Jalannya Penelitian

TKKS ditimbang sebanyak 25 g, dimasukkan ke dalam jar, dan disterilisasikan pada suhu 121°C selama 15 menit. TKKS steril diinokulasi dengan miselia *P. floridanus* LIPIMC 996 dalam cawan petri yang sudah berumur 10 hari. Miselia yang digunakan sebanyak setengah cawan petri untuk setiap 25 g TKKS. Selanjutnya TKKS diinkubasi selama 35 hari. Pada hari ke-7, 14, 21, 28, dan 35 hari dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisis karakteristiknya meliputi lignin, selulosa, hemiselulosa, dan glukosamin.

Cara Analisis

Analisis lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Analisis karakteristik tandan kosong kelapa sawit meliputi lignin, selulosa, dan hemiselulosa dilakukan dengan metode Chesson (Datta, 1981). Sampel dikeringkan pada suhu 105°C sampai bobot konstan. Satu gram sampel kering ditambahkan 150 ml aquades, dididihkan selama 1,5 jam disertai dengan pendingin balik, disaring, dan residunya dicuci sehingga didapatkan residu pertama.

Residu pertama dikeringkan pada suhu 105°C sampai bobot konstan. Selanjutnya residu tambahkan 150 ml asam sulfat 1 N dan dididihkan selama 1,5 jam disertai dengan pendingin balik, disaring dan residunya dicuci dengan 300 ml aquades panas sehingga didapatkan residu kedua.

Residu kedua dikeringkan kembali pada suhu 105°C sampai bobot konstan. Selanjutnya residu ditambahkan

dengan 10 ml asam sulfat 72% (v/v) dan didiamkan selama 4 jam. Setelah itu, residu ditambahkan dengan asam sulfat 1 N sebanyak 150 ml dan dididihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Kemudian residu disaring dan dicuci dengan 300 ml aquades panas sehingga didapatkan residu ketiga.

Residu tiga dikeringkan pada suhu 105°C sampai bobot konstan. Selanjutnya, residu diabukan pada suhu 550°C selama 2 jam. Abu dikeringkan pada suhu 105°C sampai bobot konstan sehingga didapatkan bobot abu.

Kadar hemiselulosa dihitung dari selisih bobot konstan residu pertama dan kedua lalu dibagi dengan bobot sampel kering. Kadar selulosa dihitung dari selisih bobot konstan residu kedua dan ketiga lalu dibagi dengan bobot sampel kering. Kadar lignin dihitung dari selisih bobot konstan residu ketiga dan abu dibagi dengan bobot sampel kering.

Analisis Glukosamin. Analisis kadar glukosamin dalam TKKS dilakukan dengan metode Zamani dkk. (2008) dengan sedikit modifikasi yaitu pengenceran larutan sebelum peneraan dari 100 kali menjadi 5 kali. Dua gram sampel dikeringkan selama 1 hari (50°C) dan direndam dalam NaOH 0,5 M (30 ml/ g sampel kering) pada suhu 90°C selama 14 jam. Setelah itu, sampel disentrifugasi dan diambil natannya. Kemudian, sampel (natan) dikeringkan dengan kabinet pengering pada suhu 50°C hingga kering. Selanjutnya sampel dihidrolisis dengan asam sulfat 72% (30 ml/g natan kering) selama 90 menit pada suhu ruang dan disertai pengadukan setiap 15 menit. Setelah itu, sampel tadi diencerkan dengan aquades (840 ml/g natan kering) dan dihidrolisis pada suhu 121°C selama 1 jam, diambil 0,5 ml pada saat suhu sekitar 100°C dan didinginkan. Kemudian, sampel ditambah dengan 0,5 ml NaNO₂ 1 M dan didiamkan pada suhu ruang dalam keadaan tabung tertutup selama 6 jam. Setelah itu, tabung dibuka dan didiamkan selama semalam. Kemudian, sampel ditambah dengan 0,5 ml ammonium sulfamat (12%wt) dan digojog selama 4 menit, ditambah dengan 0,5 ml MBTH (3-methyl-2-benzothiazolone-hydrazone-hydrochloride) 0,5%, dan didiamkan selama 1 jam. Lalu sampel tadi ditambah dengan 0,5 ml FeCl₃ 0,5%, digojog, dan didiamkan selama 1 jam. Selanjutnya sampel diencerkan sebesar 5 kali dan ditera absorbansinya pada λ= 650 nm.

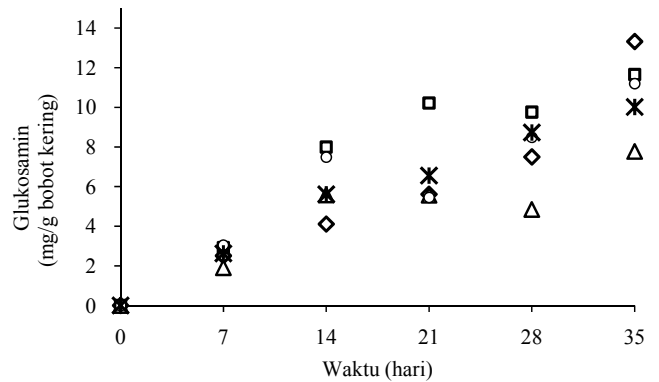
Penentuan porositas medium. TKKS dengan berbagai ukuran ditentukan porositasnya dengan cara mengukur rongga udara antar helaian TKKS dibagi dengan volume *bulk* TKKS yang dilakukan dengan gelas ukur 1 liter.

Penentuan luas spesifik. Luas permukaan total TKKS per volume helaian TKKS ditentukan dengan cara menghitung luas permukaan helaian TKKS yang diasumsikan berbentuk silinder dengan panjang 0,5; 1; 2; 4; dan 8 cm dengan diameter 0,16 mm dibagi dengan volume helaian TKKS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Jamur *P. floridanus*

Pertumbuhan *P. floridanus* LIPIMC 996 selama perlakuan pendahuluan TKKS dipengaruhi oleh ukuran TKKS seperti terlihat pada Gambar 1. Pertumbuhan jamur dinyatakan sebagai kenaikan kadar glukosamin dalam TKKS.



Gambar 1. Pengaruh ukuran TKKS terhadap pertumbuhan *P. floridanus* LIPIMC 996 selama perlakuan pendahuluan. TKKS yang digunakan berukuran 0,5 cm (*); 1 cm (O); 2 cm (Δ); 4 cm (□); dan 8 cm (◇) dan laju pertumbuhan jamur pada setiap ukuran TKKS ditunjukkan sebagai garis regresi linear yaitu 0,5 cm (---); 1 cm (-.-.); 2 cm (----); 4 cm (....); dan 8 cm (—)

Dari data perubahan kadar glukosamin selama inkubasi dapat dilihat laju pertumbuhan jamur, laju pertumbuhan jamur pada masing-masing ukuran TKKS dapat diestimasi dari *slope* garis regresi kenaikan kadar glukosamin yang dapat dilihat pada Tabel 1.

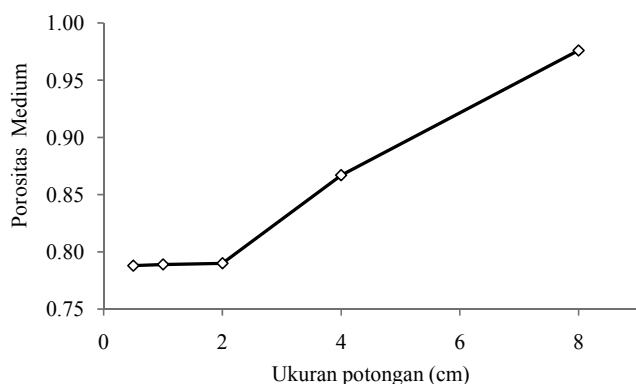
Tabel 1. Laju pertumbuhan *P. floridanus* selama perlakuan pendahuluan yang direpresentasikan sebagai slope dari hasil regresi linear pada Gambar 1

Ukuran (cm)	Laju pertumbuhan (mg Glukosamin/bobot kering/hari)
8	0.3389
4	0.3305
2	0.1866
1	0.2869
0,5	0.2982

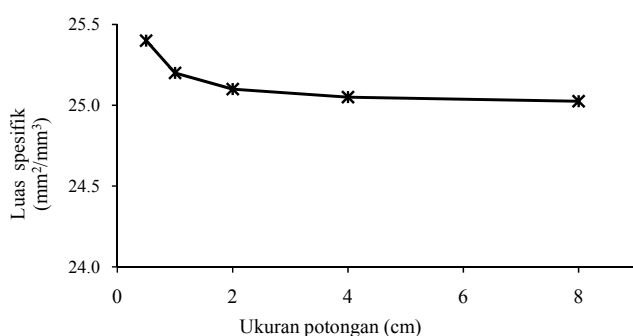
Faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan mikrobia pada proses fermentasi kultur padat (*solid state fermentation*) adalah luas permukaan substrat dan ketersediaan oksigen yang dapat terukur dengan porositas substrat (Pandey dkk., 2008). Dari Tabel 1, pengecilan ukuran TKKS dari 8 cm hingga 4 cm tidak menyebabkan penurunan laju pertumbuhan *P. floridanus* sedangkan pengecilan ukuran dari 4 cm hingga 2

cm akan mengakibatkan penurunan laju pertumbuhan. Di sisi lain, pengecilan ukuran dari 2 cm hingga 0,5 cm menyebabkan pertumbuhan semakin cepat.

Penyebab penurunan laju pertumbuhan jamur pada TKKS berukuran 4 dan 2 cm ini adalah penurunan porositas medium TKKS dengan luas permukaan yang hampir sama. Pada Gambar 2, porositas medium TKKS ukuran 8 cm hingga 2 cm menurun sehingga bisa diartikan rongga udara semakin sedikit. Jika rongga udara semakin sedikit, aksesibilitas oksigen bagi jamur *P. floridanus* semakin sulit sehingga pertumbuhannya terhambat. Penurunan jumlah oksigen pada substrat akan menyebabkan sintesis dinding sel jamur terhambat (Park dkk., 2002). Pada Gambar 3, luas permukaan TKKS ukuran 2 cm hingga 8 cm tidak terlalu berbeda sehingga bisa diartikan aksesibilitas jamur terhadap substrat relatif sama.



Gambar 2. Porositas medium pada berbagai ukuran potongan TKKS



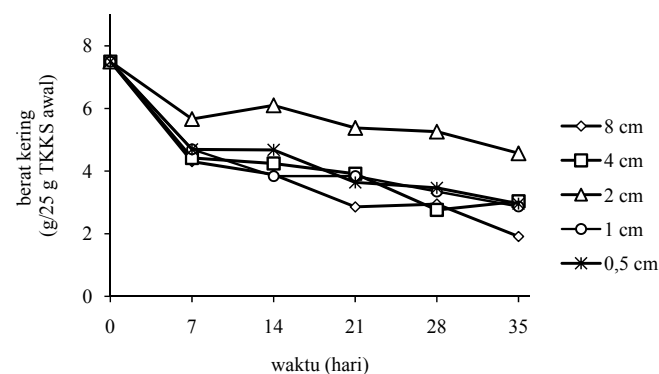
Gambar 3. Luas permukaan potongan TKKS per satuan volume helaian TKKS

Peningkatan laju pertumbuhan jamur pada TKKS ukuran 2 cm hingga 1 cm dan 0,5 cm disebabkan oleh peningkatan luas permukaan TKKS yang cukup drastis seperti terlihat pada Gambar 3, dengan porositas medium yang hampir sama antara ketiganya seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Pengecilan ukuran akan menyebabkan peningkatan luas area substrat sehingga mempermudah aksesibilitas jamur terhadap substratnya. Perluasan luas spesifik substrat menginduksi produksi enzim-enzim yang bertugas mendegradasi substrat menjadi makanan bagi jamur (Salimi dan Esfahani, 2010). Pengecilan ukuran substrat akan meningkatkan aktivitas enzim-enzim selulolitik dan lignolitik. Peningkatan aktivitas enzim ini akan mempercepat hidrolisis selulosa menjadi glukosa.

Perubahan Berat Kering

Berdasarkan Gambar 4 pada analisis perubahan berat kering, TKKS hasil delignifikasi menunjukkan bahwa berat kering menurun seiring dengan lamanya waktu inkubasi. Berat kering terendah tercapai pada hari ke-35. Penurunan berat kering tercepat terjadi pada ukuran potongan 8 cm kemudian 4 cm; 1 cm; 0,5 cm; dan paling lambat 2 cm. Penurunan berat kering ini sejalan dengan pertumbuhan jamur degradasi komponennya akan semakin cepat. Dalam degradasi lignoselulosa, penurunan berat kering selalu terjadi karena jamur mendegradasi lignoselulosa dan kemudian memetabolismenya menjadi senyawa fenol, CO₂, H₂O, dan metabolit lain (Hatakka, 1983).



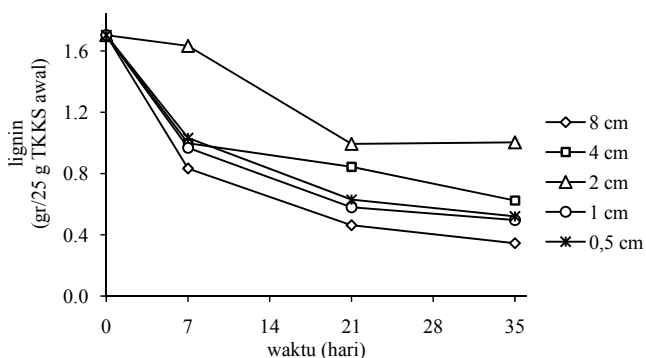
Gambar 4. Pengaruh ukuran potongan TKKS terhadap perubahan berat kering TKKS selama perlakuan pendahuluan dengan *P. floridanus*

Degradasi Lignin oleh Jamur *P. floridanus*

Gambar 5 menunjukkan bahwa laju degradasi lignin tercepat terjadi pada ukuran potongan 8 cm. Kecenderungan yang terlihat pada Gambar 5 adalah pengecilan ukuran potongan TKKS dari 8 hingga 2 cm justru memperlambat degradasi lignin. Namun, pengecilan ukuran TKKS dari 2 cm hingga 1 cm justru mempercepat degradasi ligninnya dan pengecilan ukuran hingga 0,5 cm tidak memberikan perbedaan yang cukup berarti dengan yang 1 cm. Penurunan

lignin terbesar mencapai 79,71% yaitu pada TKKS ukuran 8 cm pada hari ke-35.

Pengecilan ukuran berpengaruh pada laju degradasi lignin TKKS oleh jamur. Dari hasil penelitian ini, pengecilan ukuran potongan TKKS hingga ukuran 2 cm akan menurunkan laju pertumbuhan jamur *P. floridanus* LIPIMC 996 karena terjadi penurunan porositas medium yang cukup drastis dan luas permukaan yang hampir sama sehingga laju degradasi lignin pun terhambat. Pengecilan ukuran potongan TKKS hingga 1 cm dan 0,5 cm akan meningkatkan laju degradasi lignin karena luas permukaannya meningkat tajam walaupun porositas medium kedua ukuran tersebut hampir sama dengan TKKS ukuran 2 cm. Perluasan luas area permukaan dari substrat mengakibatkan peningkatan aksesibilitas enzim lignolitik terhadap lignin sehingga aktivitas enzim lignolitik yaitu lakase meningkat (Membrillo dkk., 2008).

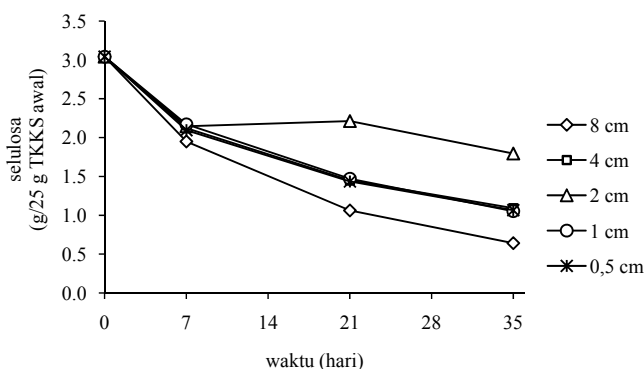


Gambar 5. Perubahan bobot lignin pada TKKS selama perlakuan pendahuluan oleh *P. floridanus* dengan variasi ukuran potongan.

Degradasi Selulosa oleh Jamur *P. floridanus*

Degradasi selulosa juga menunjukkan kecenderungan yang hampir sama dengan degradasi lignin. Semakin cepat laju pertumbuhan jamur, laju degradasi selulosa semakin cepat. Seperti yang terlihat pada Gambar 6, pengecilan ukuran potongan TKKS dari 8 cm hingga 2 cm justru menurunkan laju degradasi selulosa. Kemudian pengecilan ukuran dari 2 cm ke 1 cm justru mempercepat degradasi dan pengecilan ukuran potongan hingga 0,5 cm tidak memberikan perbedaan yang nyata dengan yang 1 cm. Selain itu pada ukuran 4 cm, laju degradasinya juga tidak jauh berbeda dengan yang 1 cm dan 0,5 cm. Pada ukuran 8 cm hingga 2 cm, degradasi selulosa menurun karena pertumbuhan jamur melambat. Penurunan selulosa mencapai 78,92% yaitu pada TKKS dengan ukuran 8 cm pada hari ke-35. Penelitian Reddy dkk. (2003) membuktikan bahwa peningkatan jumlah jamur *Pleurotus ostreatus* dan *Pleurotus sajor-caju* akan meningkatkan jumlah enzim selulolitik per berat kering bahan. Peningkatan luas area permukaan bahan juga akan memperbesar aksesibilitas jamur

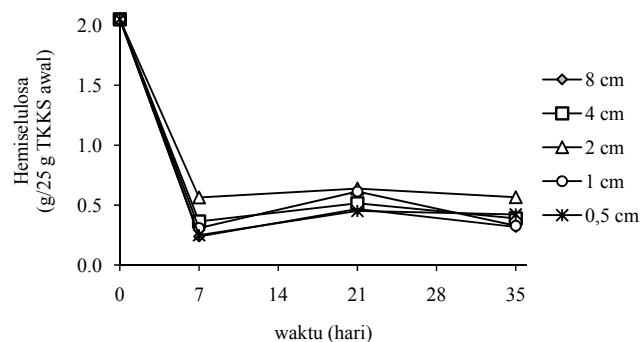
terhadap selulosa sehingga menginduksi produksi enzim selulolitik pada *P. floridanus*.



Gambar 6. Perubahan bobot selulosa pada TKKS selama perlakuan pendahuluan oleh *P. floridanus* dengan variasi ukuran potongan.

Degradasi Hemiselulosa oleh Jamur *P. floridanus*

Selain degradasi lignin dan selulosa, degradasi hemiselulosa juga terjadi secara cepat dari hari ke-0 hingga hari ke-7 dan relatif konstan setelah itu. Degradasi hemiselulosa terbesar mencapai 80,62% pada TKKS ukuran 0,5 cm. Hemiselulosa mempunyai struktur yang amorf sehingga hemiselulosa lebih cepat terdegradasi dibandingkan dengan selulosa (Cullen dan Kersten, 1992).



Gambar 7. Perubahan bobot hemiselulosa pada TKKS selama perlakuan pendahuluan oleh *P. floridanus* dengan variasi ukuran potongan.

KESIMPULAN

Pengecilan ukuran potongan TKKS dari 8 cm hingga 2 cm akan menyebabkan laju pertumbuhan *P. floridanus* LIPIMC 996 menjadi lebih lambat dan juga lignin yang terdegradasi menjadi lebih sedikit. Namun, pengecilan ukuran dari 2 cm hingga 1 cm akan mempercepat laju pertumbuhan *P. floridanus* LIPIMC 996 dan mempercepat laju degradasi lignin dan selulosa. Penurunan lignin, selulosa dan hemiselulosa pada TKKS maksimal berturut-turut mencapai 79,71%; 78,92%; dan 80,62%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Hibah Penelitian Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional, No: 491/SP2H/PL/Dit. Litabmas/VII/2011 Dirjen Dikti, Kementerian Pendidikan Nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M. dan Negro, M. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Journal of Bioresource Technology* **101**: 4851–4861.
- Bahrin, E. K., Seng, P. Y. dan Abd-Aziz, S. (2011). Effect of oil palm empty fruit bunch particle size on cellulase production by *Botryosphaeria* sp. Under Solid State Fermentation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* **5**: 276-280.
- Camarero, S., Bockle, B., Martinez, M. J. dan Martinez, A. T. (1996). Manganese-mediated lignin degradation by *Pleurotus pulmonarius*. *Journal of Applied Environmental Microbiology* **62**: 1070-1072.
- Cullen, D. dan Kersten, P. (1992). Fungal Enzymes for Lignocellulose Degradation. *Dalam*: Kinghorn, J.R. dan Turner, G. (eds.). *Applied Molecular Genetics of Filamentous Fungi*. Chapman dan Hall, New York
- Datta, R. (1981). Acidogenic fermentation of lignocellulose acid yield and conversion of component. *Journal of Biotechnology and Bioengineering* **23**: 2167-2170.
- Díaz, R., Sánchez, C., Bibbins-Martínez, M. D. dan Díaz-Godínez, G. (2011). Effect of medium pH on laccase zymogram patterns. *African Journal of Microbiology Research* **5**(18): 2720-2723.
- Hatakka, A. I. (1983). Pretreatment of wheat straw by white-rot fungi for enzymic saccharification of cellulose. *European Journal of Applied Microbiological Biotechnology* **18**: 350-357.
- Membrillo, I., Sanchez, C., Meneses, M., Favela, E. dan Loera, O. (2008). Effect of substrate particle size and additional nitrogen source on production of lignocellulolytic enzymes by *Pleurotus ostreatus* strains. *Bioresource Technology* **99**: 7842–7847.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M. dan Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Journal of Bioresource Technology* **96**: 673–686.
- Nieves, D. C., Karimi, K. dan Horvath, I. S. (2011). Improvement of biogas production from oil palm empty fruit bunches (OPEFB). *Journal of Industrial Crops and Products* **34**: 1097-1011.
- Pandey, A., Selvakumar, P., Soccol, C. R. dan Nigam, P. (2008). Solid state fermentation for the production of industrial enzymes. *Journal of Bioresource Technology* **77**(1): 149-162.
- Park, J. P., Kim, Y. M., Kim, S. W., Hwang, H. J., Cho, Y. J., Lee, Y. S., Song, C. H. dan Yun, J. W. (2002). Effect of aeration rate on the mycelial morphology and exopolymers production in *Cordyceps militaris*. *Journal of Process Biochemistry* **37**: 1257–1262.
- Kementerian Pertanian (2006). *Pedoman pengelolaan limbah industri kelapa sawit*. Jakarta: Subdit Pengelolaan Hasil Pertanian. Indonesia: Kementerian Pertanian.
- Kementerian Pertanian (2011). *Basis Data Statistik Pertanian*. <http://aplikasi.deptan.go.id/bdsp/index.asp> [27 Februari 2012].
- Piarpuzan, D., Quintero, J. A. dan Cardona, C. (2011). Empty fruit bunches from oil palm as a potential raw material for fuel ethanol production. *Journal of Biomass and Bioenergy* **35**: 1130-1137.
- Reddy, G. V., Babu, P. R., Komariah, P., Roy, K. R. dan Kothari, L. (2003). Utilization of banana waste for the production of lignolytic and cellulolytic enzymes by solid substrate fermentation using two *Pleurotus* species (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*). *Journal of Process Biochemistry* **38**: 1457-1462.
- Salimi, K. R. dan Esfahani, Z. H. (2010). Evaluation of the effect of particle size, aeration rate and harvest time on the production of cellulase by *Trichoderma reesei* QM9414 using response surface methodology. *Journal of Food and Bioproducts Processing* **88**: 61-66.
- Umikalsom, M. S., Ariff, A. B. dan Karim, M. I. (1998). Saccharification of pretreated oil palm empty fruit bunch fiber using cellulase of *Chaetomium globosum*. *Journal of Agricultural Food Chemistry* **46**: 3359-3364.
- Zamani, A., Jeihanipour, A., Edebo, L., Niklasson, C. dan Taherzadeh, M. J. (2008). Determination of glucosamine and N-acetyl glucosamine in fungal cell walls. *Journal of Agricultural Food Chemistry* **56**: 8314–8318.