

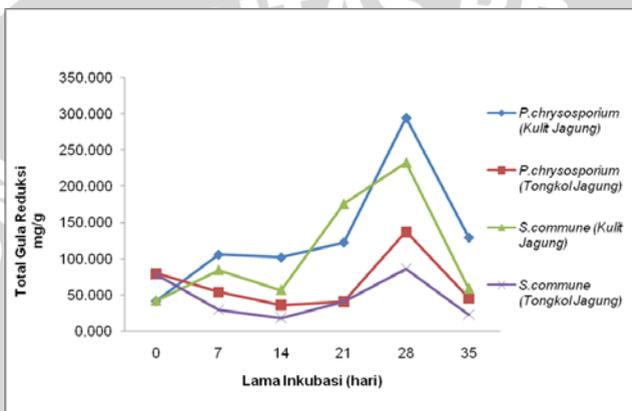
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Total Gula Reduksi (TGR)

Gula pereduksi merupakan gula sederhana hasil hidrolisis karbohidrat kompleks. Salah satunya bentuk dari gula pereduksi yaitu glukosa (Devis, 2008). Dalam proses biokonversi, hemiselulosa didekomposisi secara biologis oleh jamur menghasilkan gula pentosa, asam heksorunat dan sedikit gula heksosa, sedangkan selulosa dikonversikan menjadi selobiosa kemudian didekomposisi lebih lanjut menghasilkan gula pereduksi berupa glukosa (Surthikanthi *et al.*, 2005). Hasil dari uji statistika MANOVA (**Lampiran 7**) menunjukkan bahwa interaksi lama inkubasi dengan jamur, lama inkubasi dengan bahan, serta lama inkubasi, jenis jamur dan bahan memiliki nilai sig.<0.05, hal tersebut menunjukkan bahwa interaksi tersebut memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap hasil gula reduksi. Hasil uji Tukey interaksi tiga faktor dan nilai rerata Total Gula Reduksi dapat dilihat pada **Lampiran 7**.

Berdasarkan **Gambar 4.1**, grafik menunjukkan bahwa terjadi kenaikan yang cukup drastis nilai gula reduksi dari hari ke 21 menuju hari ke 28, dengan nilai persentase kenaikan nilai Total Gula Reduksi tersaji pada **Lampiran 7**. Pada perlakuan *P. chrysosporium* dengan bahan kulit jagung besar kenaikan terjadi 6 kali lebih tinggi dibanding hari ke-0 (608,74%) dan mencapai nilai gula reduksi tertinggi sebesar 294.694 mg/g dengan notasi h, kemudian diikuti dengan perlakuan *S. commune* dengan bahan kulit jagung yang naik 4,5 kali lipat dari hari ke-0 (455,60%) sebesar 232.81 mg/g dengan notasi g, perlakuan *P. chrysosporium* dengan bahan tongkol jagung kenaikan 73,16% dengan nilai sebesar 137.226 mg/g dan notasi ef, serta perlakuan *S. commune* dengan bahan tongkol jagung naik sebesar 10,24% dengan nilai sebesar 86.032 mg/g dan notasi bcde. Kemudian terjadi penurunan yang cukup drastis pula pada hari ke-35. Di antara kedua jamur yang digunakan, dalam waktu 35 hari jamur *P. chrysosporium* lebih mendominasi dalam

mendegradasi gula yang lebih tinggi dibanding *S. commune*, yaitu pada hari ke 7, 14, 28, dan 35. Hal tersebut hampir sama dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nurika (2013), yang menggunakan 4 spesies jamur (*P. chrysosporium*, *S. commune*, *S. lacrymans*, dan *P. placenta*), di mana di antara ke empat jamur tersebut gula reduksi tertinggi yaitu jamur *P. chrysosporium*.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Perbedaan Spesies Jamur *White rot* (*P. chrysosporium* & *S. commune* dan Jenis Bahan (Kulit & Tongkol Jagung) pada Degradasi Lignoselulosa Terhadap Nilai Total Gula Reduksi dengan lama inkubasi antara 0 hingga 35 hari

Menurut Fadilah *et al.* (2009) biodegradasi lignoselulosa dapat terjadi dalam keadaan lignolitik, yaitu ketika jamur mengeluarkan enzim yang dapat mendegradasi lignin. Pada jamur pelapuk putih, enzim yang dikeluarkan adalah enzim peroksidase. Selain menghasilkan enzim LiP dan MnP, *P. chrysosporium* juga menghasilkan enzim yang dapat menguraikan selulosa seperti enzim protease, kuinon reduktase, dan selulase. Kemampuan jamur yang berbeda dalam mendegradasi menjadi faktor utama, di mana pada kedua jamur tersebut terdapat perbedaan enzim yang digunakan, sehingga hasil degradasinya juga berbeda meskipun bahan yang digunakan sama. Hal tersebut didukung dengan pernyataan

Vaithanomsat *et al.* (2009), yang menyebutkan bahwa proses hidrolisis selulosa tergantung pada konsentrasi enzim yang bekerja, sehingga berpengaruh pada total gula yang tereduksi. Selain itu Hunt dan Garrett (1986) juga menjelaskan bahwa faktor lingkungan seperti kelembaban, kadar air, suhu, konsentrasi hidrogen dan sebagainya juga mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas jamur. Sehingga apabila aktivitas dan pertumbuhan jamur berbeda maka hasil dari proses degradasi juga akan berbeda.

Pada bahan kulit jagung, baik yang didegradasi oleh *P. chrysosporium* maupun *S. commune*, menunjukkan peningkatan Total Gula Reduksi pada awal inkubasi hari ke-7, kemudian penurunan di hari ke 14, sedangkan pada bahan tongkol jagung menunjukkan penurunan gula reduksi dari hari ke-7 hingga hari ke 14. Adanya perbedaan *trend* di hari ke-7, menunjukkan bahwa pada kulit jagung produksi gula di hari ke 7 lebih banyak dibanding gula yang dikonsumsi sehingga masih banyak gula yang tersisa, sedangkan pada tongkol jagung produksi gula lebih sedikit dibanding dengan gula yang dikonsumsi sehingga hasil gula reduksi menurun. Penurunan gula reduksi di awal inkubasi juga terjadi pada penelitian Surtikanthi *et al.* (2005) yang menggunakan enceng gondok sebagai bahan dan *P. chrysosporium* sebagai jamur pendegradasi. Pada penelitian tersebut terjadi penurunan gula pada hari ke-10. Peningkatan gula reduksi terjadi karena adanya degradasi substrat dalam inokulum, sedangkan penurunan hasil gula reduksi dikarenakan hasil tersebut digunakan oleh jamur sebagai energi untuk melakukan proses konversi terhadap lignin (Boominathan and Reddy, 1997). Sehingga dapat disimpulkan bahwa peningkatan dan penurunan gula reduksi dipengaruhi oleh produksi dan konsumsi gula oleh jamur.

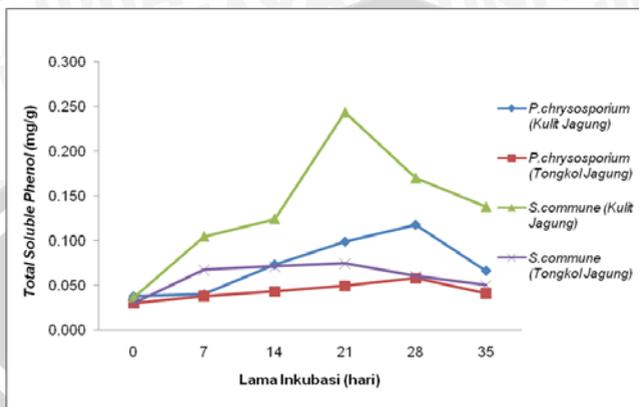
Secara keseluruhan, dibandingkan dengan tongkol jagung, hasil total gula reduksi pada kulit jagung lebih banyak. Kemungkinan hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan tekstur pada kedua bahan tersebut. Tekstur kulit jagung yang lebih lunak memudahkan akses mikroorganisme

dalam merusak dinding sel tanaman sehingga lebih mudah akses degradasi lignoselulosa di awal inkubasi, sedangkan tekstur tongkol jagung yang lebih keras membutuhkan waktu yang lebih lama untuk didegradasi. Sehingga dari perbedaan kandungan tersebut maka proses degradasi lignin pada tongkol jagung membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan kulit jagung. Maka jika dibandingkan di antara kedua bahan tersebut, degradasi hemiselulase dan selulase lebih cepat dan lebih mudah dilakukan pada kulit jagung.

4.2 Total Soluble Phenol (TSP)

Fenol merupakan salah satu bentuk hasil degradasi lignin, sehingga total fenol yang terlarut dapat dijadikan sebagai indikator terjadinya degradasi lignin (Surthikanthi *et al.*, 2005). Hasil uji statistika MANOVA (**Lampiran 8**) menunjukkan bahwa interaksi antara jamur dengan bahan, lama inkubasi dengan jamur, lama inkubasi dengan bahan, serta lama inkubasi, jenis jamur dan bahan memiliki nilai sig. <0.05, sehingga dapat disimpulkan bahwa interaksi tersebut berpengaruh nyata terhadap hasil dari *soluble phenol*. Dapat dilihat pada **Lampiran 8** hasil Uji Tukey beserta nilai rerata *Total Soluble Phenol*.

Berdasarkan **Gambar 4.2**, hasil degradasi lignin yang berupa fenol, mengalami peningkatan secara terus-menerus dari hari ke-0 hingga hari ke-28 pada spesies *P. chrysosporium* dengan nilai persentase kenaikan tertinggi pada kulit jagung sebesar 160,35% (0.118 mg/g dengan notasi gh), dan tongkol jagung sebesar 65,97% (0.058 dengan notasi bcde). Pada spesies *S. commune* mengalami peningkatan dari hari ke-0 hingga ke-21 dengan persentase kenaikan tertinggi pada kulit jagung sebesar 565,23% (0.244 mg/g dengan notasi j), dan pada tongkol jagung 145,56% (0.074 mg/g dengan notasi ef). Data secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 8**. Menurut Herliyana *et al.* (2011) proses degradasi lignin terjadi pada metabolisme sekunder. Apabila dibandingkan dengan hari ke-0 maka semakin lama waktu inkubasi maka semakin tinggi fenol yang dihasilkan.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Perbedaan Spesies Jamur *White rot* (*P. chrysosporium* & *S. commune*) dan Jenis Bahan (Kulit & Tongkol Jagung) pada Degradasi Lignoselulosa Terhadap Nilai *Total Soluble Phenol* dengan lama inkubasi antara 0 hingga 35 hari

Dari grafik di atas (**Gambar 4.2**), dapat dilihat terjadi perbedaan *trend* antara kedua spesies, maka dapat dikatakan bahwa setiap jamur memiliki karakteristik yang berbeda dalam mendegradasi lignoselulosa. Jamur *P. chrysosporium* optimal mendegradasi pada hari ke-28, sedangkan *S. commune* optimal mendegradasi pada hari ke-21. Dari keseluruhan perlakuan, nilai *soluble phenol* tertinggi terjadi pada inkubasi hari ke-21 degradasi oleh *S. commune* pada bahan kulit jagung. Dalam proses degradasi lignoselulosa, enzim menjadi salah satu faktor penting yang mempengaruhinya. Enzim lignin peroksidase (LiP), mangan peroksidase (MnP), dan lakase merupakan enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh jamur untuk menguraikan senyawa lignin (Subowo, 2015). Setiap *white rot* mengeluarkan enzim ekstraseluler yang berbeda-beda, ada yang mengeluarkan enzim LiP dan MnP tanpa lakase, dan ada juga yang mengeluarkan enzim MnP dan lakase tanpa LiP. Pada beberapa jamur, *P.chrysosporium* salah satunya, lignin dan hemiselulosa didegradasi lebih banyak dibanding selulosa (Suparjo, 2008). Berdasarkan penelitian yang dilakukan

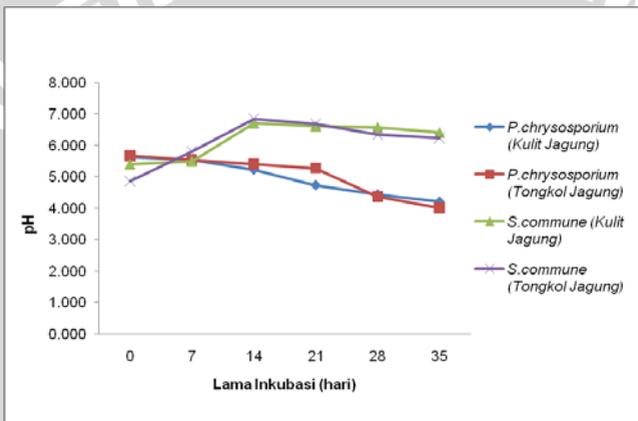
Muslimah dan Kuswytari (2013), *S. commune* menghasilkan enzim LiP, MnP, dan lakase, sedangkan pada *P. chrysosporium*, enzim yang dihasilkan hanya LiP dan MnP (Ilmi *et al.*, 2013). Hal tersebut diduga karena adanya pengaruh dari enzim lakase. Enzim LiP atau MnP mampu mengoksidasi berbagai jenis substrat aromatik melalui oksidasi satu electron. (Herliyani *et al.*, 2011). Lakase berperan sebagai katalis suatu reaksi reduksi-oksidasi (Fadilah *et al.*, 2009). Lakase dapat mengoksidasi substrat yang spesifik seperti orto difenol, para difenol, aminofenol, polifenol, poliamina, lignin, dan aril diamina (Puspita 2008). Sehingga dengan adanya enzim lakase maka degradasi lignin dapat lebih optimal.

Setelah memperoleh hasil fenol tertinggi, terjadi penurunan nilai di akhir inkubasi (hari ke-28 dan 35) pada seluruh perlakuan. Hal ini diduga terjadi karena di hari ke-28 atau pun 35 jumlah jamur mulai menurun. Hal tersebut didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Nurika (2013), di mana nilai *funggal biomass* dan ergosterol pada *S. commune* berada pada titik tertinggi di hari ke-21, kemudian turun di hari ke-28. Penurunan jumlah jamur diikuti dengan penurunan enzim yang diproduksi, sehingga produksi fenol juga menurun. Selain itu, penurunan diduga pula karena kandungan lignin yang semakin turun, sehingga hasil degradasi berupa fenol juga akan menurun. Pada ke dua bahan yang digunakan, hasil fenol lebih tinggi pada bahan kulit jagung dibanding dengan tongkol jagung. Diduga karena kandungan lignin pada kulit jagung yang lebih rendah dan teksturnya yang lebih lunak dibanding tongkol jagung, dapat mempermudah degradasi oleh jamur. Sementara pada tongkol jagung membutuhkan waktu degradasi lebih lama karena karakter bahan tersebut.

4.3 pH

Pada proses *pretreatment* biologi, terjadi proses hidrolisis hemiselulosa dan selulosa menjadi monomer gula oleh enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Hasil hidrolisis selulosa akan mempengaruhi kondisi pH, jika proses hidrolisis

terjadi dengan baik maka kondisi pH akan asam (Menon *and* Rao, 2012). Pada penelitian ini, pengukuran pH pada hasil ekstraksi menunjukkan bahwa pH dalam kondisi asam (**Gambar 4.3**). Hasil analisa MANOVA (**Lampiran 9**) menunjukkan bahwa interaksi antara jamur dengan bahan, lama inkubasi dengan jamur, lama inkubasi dengan bahan, serta interaksi ketiganya memberikan pengaruh nyata terhadap nilai pH ekstrak. Adapun Hasil uji Tukey interaksi tiga faktor dan rata-rata nilai pH dapat dilihat pada **Lampiran 9**.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Perbedaan Spesies Jamur *White rot* (*P. chrysosporium* & *S. commune*) dan Jenis Bahan (Kulit & Tongkol Jagung) pada Degradasi Lignoselulosa Terhadap Nilai pH Ekstrak Bahan dengan lama inkubasi antara 0 hingga 35 hari

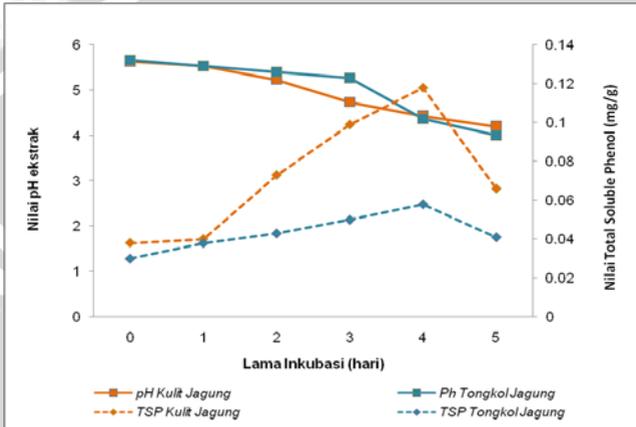
Pada **Gambar 4.3**, dapat dilihat grafik yang menunjukkan bahwa perbedaan antar spesies (*P. chrysosporium* dan *S. commune*) memiliki *trend* yang berbeda terhadap nilai pH, di mana *S. commune* pada awal inkubasi meningkat hingga hari ke-14, kemudian turun setelahnya hingga hari ke-35 sedangkan pada *P. chrysosporium* nilai pH terus menurun dari awal inkubasi hingga hari ke-35. Ilmi dan Kuswytasari, (2013) menjelaskan bahwa setiap *white rot* memiliki karakteristik yang berbeda di antaranya enzim. Setiap enzim juga memerlukan suhu dan pH optimum yang berbeda-

beda karena enzim adalah protein yang dapat mengalami perubahan bentuk jika suhu dan pH berubah. Dewi *et al.* (2005) juga menambahkan aktivitas optimum enzim berkisar pada nilai pH pertumbuhan mikroorganisme penghasil enzim tersebut.

Pada penelitian ini keseluruhan perlakuan hasil ekstrak menunjukkan nilai pH berada pada kondisi asam dengan rentang pada jamur *S. commune* berada pada rentang terendah 4.867 dengan notasi d, dan rentang tertinggi 6.883 dengan notasi k, sedangkan jamur *P. chrysosporium* memiliki rentang nilai terendah 4 dengan notasi a, dan rentang tertinggi 5.667 dengan notasi fg (**Lampiran 9**). Menurut Lim (1998), dalam skala laboratorium umumnya jamur mampu tumbuh pada kisaran pH yang cukup luas yaitu antara 4,5-8,0 dengan pH optimum antara 5,5-7,5 atau bergantung pada jenis jamurnya. Rayner and Lynne (1988) menjelaskan bahwa pH optimum jamur *P. chrysosporium* untuk memetabolisme lignin mendekati pH 4 sampai dengan 4.5. Sehingga Nilai pH optimum yaitu pada perlakuan *P. chrysosporium* dengan kulit jagung dan *P. chrysosporium* dengan tongkol jagung yaitu pada hari ke-28 dan 35, dengan nilai hari ke-28 4.43 dan 4.37, sedangkan hari ke-35 4.2 dan 4.0.

Terjadinya peningkatan dan penurunan nilai aktivitas enzim akibat perubahan pH disebabkan karena perubahan tingkat ionisasi pada enzim atau substrat (Puspita 2007). Sugoro *et al.* (2011) menerangkan bahwa terjadinya penurunan pH merupakan akibat dari pertumbuhan atau metabolisme jamur. Selain itu, menurut Ying *et al.* (2010) penurunan pH juga terjadi karena terbentuknya asam-asam organik seperti asam humat, asam fulvat, dan asam karboksilat. Meningkatnya konsentrasi asam organik ini diduga terjadi karena telah terjadi proses degradasi oleh enzim lignin peroksidase dan mangan peroksidase (Sugoro *et al.*, 2010). Salah satu asam yang terbentuk pada proses degradasi oleh *white rot* yaitu asam oksalat. Jamur memperoleh energi dengan mengoksidasi karbohidrat menjadi asam oksalat. Dalam proses metabolisme pada jamur, asetil-KoA yang diperoleh dari oksidasi glukosa

dikonversi menjadi asam oksalat (Munir *et al.*, 2001). Asam oksalat berperan dalam menghidrolisis hemiselulosa pada kayu, membuat serat-serat pada selulosa lebih mudah diakses selulase (Kaneko, 2004).

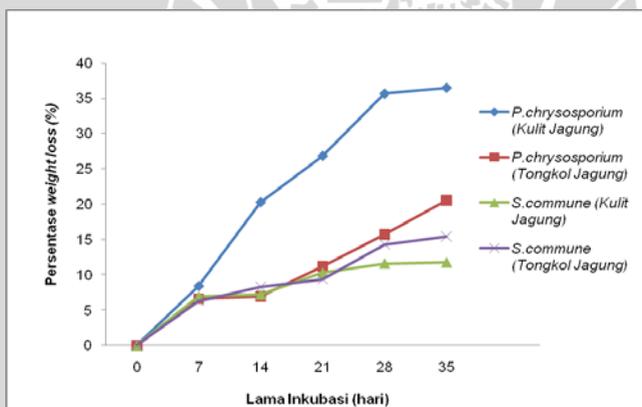


Gambar 4.4 Grafik Hubungan nilai pH dengan *Total Soluble Phenol* Hasil Degradasi pada Kulit dan Tongkol *P. chrysosporium* dengan lama inkubasi antara 0 hingga 35 hari

Berdasarkan **Gambar 4.4** dapat diketahui bahwa terdapat hubungan antara nilai pH dengan *Total Soluble Phenol* (TSP) hasil degradasi *P. chrysosporium* pada bahan kulit dan tongkol jagung dengan waktu inkubasi antara 0 hingga 35 hari. Pada grafik tersebut, semakin lama waktu inkubasi nilai TSP semakin meningkat sedangkan nilai pH semakin menurun. Hal tersebut menunjukkan adanya hubungan di antara keduanya. Menurut Widiastuti *et al.* (2007), pH media berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi enzim. Pada umumnya jamur tumbuh dan menghasilkan berbagai macam enzim pada kisaran pH asam. Sehingga dapat diduga jika semakin asam kondisi substrat maka pertumbuhan jamur semakin tinggi dan enzim bekerja lebih optimal dalam memproduksi fenol sebagai hasil degradasi lignin.

4.4 Weight Loss (Susut Berat)

Salah satu uji yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengukuran susut berat atau *weight loss*. Menurut Djarwanto dan Suprpti (2014), ciri terjadinya degradasi lignoselulosa oleh jamur yaitu adanya berat yang hilang dari bahan yang disebut dengan *weight loss* atau susut berat. Pada penelitian ini, penurunan susut berat selama waktu inkubasi dibandingkan dengan hari ke-0 dinyatakan dalam bentuk persentase (%). Pada penelitian ini dilakukan analisa MANOVA untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh nyata antar faktor jenis bahan, jenis jamur, dan lama inkubasi terhadap parameter yang diukur. Hasil analisa MANOVA pada penelitian ini dapat dilihat pada **Lampiran 10**. Berdasarkan hasil tersebut ($\alpha = 5\%$), interaksi antara jamur dengan bahan, lama inkubasi dengan jamur, lama inkubasi dengan bahan, serta interaksi ketiganya memiliki nilai *weight loss* menghasilkan nilai signifikansi <0.05 . Hal tersebut menunjukkan bahwa interaksi antara ke tiga faktor tersebut memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap *weight loss*. Hasil uji Tukey interaksi tiga faktor dapat dilihat pada Lampiran 10.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Perbedaan Spesies Jamur *White rot* (*P.chrysosporium* & *S. commune*) dan Jenis Bahan (Kulit & Tongkol Jagung) pada Degradasi Lignoselulosa Terhadap Nilai *Weight loss* Bahan dengan lama inkubasi antara 0 hingga 35 hari

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase *weight loss* semakin lama semakin tinggi atau dapat dikatakan bahwa penyusutan berat bahan semakin tinggi. Hal ini dapat diartikan bahwa dibandingkan dengan hari ke-0, semakin lama inkubasi (hari ke-35) maka degradasi lignoselulosa semakin meningkat. Irfan *et al.* (2011) menjelaskan bahwa terjadinya peningkatan susut berat menunjukkan adanya degradasi lignoselulosa pada biomasa. Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.4** dan nilai rata-rata *weight loss* pada **Lampiran 10**, nilai *weight loss* tertinggi pada hari ke-35 pada seluruh perlakuan. Di antara empat perlakuan tersebut, nilai *weight loss* tertinggi yaitu pada perlakuan *P. chrysosporium* dengan kulit jagung sebesar 36.47% dengan notasi k, diikuti dengan perlakuan *P. chrysosporium* dengan tongkol jagung sebesar 20.56% dengan notasi i, *S. commune* dengan tongkol jagung sebesar 15.45% dengan notasi h, dan *S. commune* dengan kulit jagung sebesar 11.74% dengan notasi g. Sehingga jika dibandingkan antara kedua jamur yang digunakan, maka *P. chrysosporium* memiliki kemampuan degradasi lebih tinggi dibanding dengan *S. commune*. Paul (1992), menjelaskan bahwa salah satu jamur pendegradasi lignin yang paling aktif adalah *Phanerochaete chrysosporium*. Jamur tersebut mampu merombak hemiselulosa, selulosa dan lignin dari limbah tanaman menjadi CO₂ dan H₂O. Terjadinya degradasi lignoselulosa selama waktu inkubasi dikarenakan adanya aktivitas enzim yang dikeluarkan oleh jamur *P. chrysosporium*.

Jamur *P. chrysosporium* memproduksi enzim ekstraseluler seperti Lignin Peroksidase (LiP) dan Mangan Peroksidase (MnP). Enzim-enzim tersebut mampu mengkatalis reaksi biokimia pada media lignoselulosa, sehingga lignoselulosa dapat dirombak menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Senyawa-senyawa ini selanjutnya dapat diabsorpsi dan dimetabolisme oleh jamur (Herliyana, 2011). Menurut Wyman (1996) jumlah penurunan berat bahan selama proses pretreatment adalah karena terjadinya degradasi lignin.

Baldwin *and* Streisel (1985) juga mengemukakan hal yang sama, bahwa susut berat atau *weight loss* merupakan indikator yang digunakan untuk menyatakan terjadinya degradasi lignoselulosa. Kehilangan berat dalam proses degradasi tersebut mencerminkan kerusakan dinding sel akibat proses metabolisme jamur. Kehilangan berat tersebut disebabkan oleh adanya proses degradasi komponen kimia kayu terutama selulosa dan lignin (Antai dan Crawford, 1982).



V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Terdapat pengaruh nyata dari interaksi antara spesies jamur, jenis bahan dan lama inkubasi terhadap nilai Total Gula Reduksi, *Total Soluble Phenol*, *weight loss*, dan pH.
2. Hasil gula reduksi optimal diperoleh pada perlakuan *P. chrysosporium* dengan kulit jagung dengan lama inkubasi 28 hari sebesar 294.694 mg/g, sedangkan produksi fenol optimal diperoleh pada perlakuan *S. commune* bahan kulit jagung dengan lama inkubasi selama 21 hari, sebesar 0.244 mg/g.

5.2 Saran

1. Perlu diteliti pengaruh ukuran partikel bahan terhadap hasil degradasi lignoselulosa
2. Perlu diteliti dengan penambahan waktu inkubasi ataupun nutrisi pada bahan yang akan didegradasi, sehingga jamur mampu mendegradasi lignoselulosa lebih optimal.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

