

**KERUSAKAN DIMENSI SERAT AKIBAT *BIOPULPING* PADA
*Acacia mangium***

**PHYSICAL DAMAGES OF WOOD FIBER IN *Acacia mangium* DUE TO
BIOPULPING TREATMENT**

Ridwan Yahya^{1*}, Mucharromah¹, Devi Silsia¹, dan Septiana¹

¹Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

*email: ridwanyahya@unib.ac.id

Received 25 February 2016; Accepted 4 April 2016; Available online 16 May 2016

ABSTRAK

Biopulping adalah pemberian jamur pada serpih untuk mengurangi komponen kimia material yang tidak diinginkan dalam pembuatan pulp. Penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa *biopulping* terhadap kayu mangium berupa pemberian jamur *Phanerochaeta chrysosporium* dapat mendegradasi lignin dan meningkatkan persentase kadar holoselulosa dan α -selulosa. Selain komponen kimia, dimensi serat juga sangat menentukan kualitas kertas yang dihasilkan. Pertanyaannya adalah bagaimana keutuhan dan dimensi serat dari kayu yang telah diberi jamur tersebut. Penelitian ini bertujuan mengetahui dampak pemberian jamur *P. chrysosporium* terhadap keutuhan dan dimensi serat. Kegiatan riset dimulai dengan memperbanyak biakan murni *P. chrysosporium* selama 14 hari di dalam media pertumbuhan, kemudian diinokulasikan ke serpih kayu pada konsentrasi 5% dengan waktu inkubasi 0, 15 dan 30 hari. Serpih hasil inokulasi dibuat stik berukuran 1 mm x 1 mm x 20 mm, dan kemudian dimaserasi dengan *franklin solution* pada suhu 60 °C selama 48 jam. Pengamatan kerusakan dilakukan terhadap 40 serat untuk setiap perlakuan menggunakan mikroskop pada pembesaran 400x. Dilakukan juga pengukuran dimensi serat hasil inokulasi. Diperoleh hasil bahwa serpih batang mangium yang telah diinokulasi menunjukkan persentase kerusakan serat 0%. Serat-serat hasil inokulasi memiliki panjang yang terkategori sedang dan dinding yang tergolong tipis.

Kata kunci : biopulping, dimensi serat, keutuhan serat, mangium

ABSTRACT

Biopulping is fungal pretreatment of wood chips to reduce unused chemical composition of material in pulping. Preliminary study showed that pretreatment of *Phanerochaeta chrysosporium* to *Acacia mangium* Willd can reduce lignin and improve holocellulose and cellulose content of the material. Fiber dimension recognized as other important factor for paper properties. The question is how the integrity and dimensions of the wood fiber that has been pretreated with the fungus. The objectives of present study were to know effect of pretreatment of *P. chrysosporium* to the integrity and dimensions of the fiber. The *P. chrysosporium* was cultured for 14 days in growth medium, and inoculated to wood chips 5% (w/v) and incubated for 0, 15 and 30 days. The inoculated wood chips were chipped into 1 mm x 1 mm x 20 mm and macerated using *franklin solution* at 60 °C for 48 hours. Forty fibers from each incubated time were analyzed their physical damages using a light microscope at a 400 magnification. The inoculated fibers were measured their dimensions. The physical damage percentage of fibers pretreated using *P. chrysosporium* was 0%. Length and wall thickness of the pretreated fibers were can be categorized as middle class and thin fibers, respectively.

Keywords : biopulping, fiber integrity, fiber dimension, mangium

PENDAHULUAN

Industri pulp di Indonesia umumnya memanfaatkan kayu sebagai bahan baku dan menggunakan proses sulfat atau *kraft* di dalam pengolahannya. Proses *kraft* dipilih karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan proses mekanik atau kimia pulp lainnya (Da Re, Papinutti, Forchiassin, & Levin, 2010). Keunggulan tersebut antara lain dapat mengolah berbagai jenis kayu baik sejenis maupun campuran, selain itu waktu pemasakan yang relatif pendek, menghasilkan rendemen dan kualitas pulp yang tinggi (Singh, Sulaiman, Hashim, Rupani, & Peng, 2010). Namun disamping keunggulan tersebut, proses pembuatan pulp ini juga memiliki kelemahan, yaitu menghasilkan gas berbau berupa hidrogen sulfida (H_2S) dan metil merkaptan (CH_3SH) serta warna pulp yang gelap (Liew et al., 2011). Hasil yang demikian ini menyebabkan tingginya kebutuhan bahan pemutih dan bahan organik terklorinasi dari limbah proses pemutihan pulp yang tidak dapat didaur ulang. Hal ini akan menimbulkan pencemaran lingkungan akibat proses pembuatan dan pemutihan pulp (Singh et al., 2010).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi masalah di atas misalnya dengan teknologi *biopulping*. *Biopulping* diartikan sebagai perlakuan pendahuluan berupa pemberian jamur sebelum *pulping*. Pemikiran ini didasari pada pengamatan bahwa selama ini jamur pelapuk putih (*white rot fungi*) telah dikenal sebagai organisme yang dapat mendegradasi komponen kayu terutama lignin (Levin, Villalba, Da Re, Forchiassin, & Papinutti, 2007; Singh et al., 2010; Ashger, Iqbal, & Asad, 2012; Giles, Zackeru, Elliot, & Parrow, 2012). Pada proses *pulping*, kehadiran lignin ini justru sangat tidak diperlukan, karena itu jamur ini kemudian dimanfaatkan untuk proses pendahuluan sebelum pemasakan chips. Salah satu jamur yang telah dicoba dan efektif adalah

Phanerochaeta chrysosporium (Singh et al., 2010).

Jamur *P. chrysosporium* telah digunakan oleh Yahya, Mucharromah, dan Silsia (2007) dalam penelitian *biopulping* terhadap kayu mangium (*Acacia mangium* Willd). Kayu mangium dipilih pada penelitian tersebut dan juga pada penelitian saat ini karena mangium adalah kayu yang paling dominan sebagai bahan baku industri pulp di Indonesia (Yahya, Sugiyama, Silsia & Gril, 2010) dan telah dilakukan berbagai riset untuk meningkatkan kualitasnya sebagai penghasil pulp (Yahya, Koze & Sugiyama, 2011; Yahya, Sundaryono, Imai, & Sugiyama, 2015).

Dari enam kombinasi konsentrasi dan waktu inkubasi telah yang dicoba diperoleh hasil bahwa kombinasi konsentrasi 10% dan waktu inkubasi 45 hari merupakan kombinasi perlakuan jamur yang paling sesuai untuk serpih sebagai bahan baku pulp kertas karena menghasilkan kadar lignin terendah dan mampu meningkatkan persentase holoselulosa dan alpha selulosa.

Penurunan konsentrasi lignin karena telah diberi jamur, secara teoritis tentunya memberikan kontribusi positif bagi proses pemasakan pulp. Zat kimia dan atau waktu pemasakan tentunya dapat dikurangi, karena esensi pemberian zat kimia dan waktu pemasakan terkait dengan kegiatan pengeluaran lignin pada serpih untuk menjadi pulp (Ferraz et al., 2008; Fonseca et al., 2014). Namun berdasarkan penelusuran literatur maksimal yang penulis lakukan (Battan, Sharma, Dhiman, & Kuhad, 2007; van Beek et al., 2007; Yang, Zhang, Wang, Fu, & Li, 2007; van Heerden, le Roux, Swart, Gardmer-Lubbe, & Botha, 2008; Singh et al., 2010; Giles, Galloway, Elliot, & Parrow, 2011; Albert & Padhiar, 2012; Singh, Sulaiman, Hashim, Peng, & Singh, 2013; Fonseca et al., 2014), belum ada publikasi yang membahas hubungan pemberian jamur dengan kerusakan serat.

Keuntungan penggunaan cendawan pelarut lignin dalam proses *biopulping* adalah untuk memudahkan proses pemisahan serat dan mengurangi bahan kimia dalam proses pemutihan agar tidak terlalu mencemari lingkungan. Namun bila cendawan yang digunakan juga mampu merusak serat maka kualitas kertas yang dihasilkan tentunya juga akan menurun, karena selain komponen kimia, dimensi serat juga menentukan kualitas kertas (Pirralho et al., 2014). Penelitian ini bertujuan mengamati kerusakan serat akibat pemberian jamur *P. chrysosporium* dan mengetahui kelayakan serat-serat tersebut sebagai bahan baku pulp berdasarkan dimensinya.

METODE PENELITIAN

Sampel Penelitian

Penelitian ini menggunakan enam pohon sebagai ulangan yang terpilih secara random dari 120 pohon *Acacia mangium* Willd. Ke 120 pohon tersebut terpilih secara purposif dengan kriteria berumur 7 (tujuh) tahun, berbatang lurus dan bebas cacat. Selanjutnya pada setiap pohon diambil sampel berupa lempeng setebal 2 cm dari bagian batang. Lempeng dari batang berasal dari bagian tengah pohon (antara pangkal bekas tebangan dengan bagian ujung yang berdiameter 8 cm).

Metode Penyiapan Sampel

Lempengan yang diperoleh kemudian dibuat serpih dengan ukuran 2,5 cm x 2,0 mm x 2,5 cm. Kemudian dipilih serpih yang berkualitas dan berukuran relatif seragam yaitu bebas mata kayu dan yang tertinggal pada saringan yang berukuran lubang 5/8 – 3/8 inch.

Berat serpih setiap ulangan adalah 21 g Berat Kering Tanur (BKT). Setiap tumpukan serpih tersebut direndam dalam air, lalu dimasukkan ke dalam kantong plastik tahan panas. Setelah itu ditutup kapas dan dibalut kain kasa, selanjutnya dilakukan sterilisasi dengan *autoklaf* pada suhu 121 °C, tekanan 1,2 atmosfer selama

satu jam. Tumpukan serpih tersebut kemudian didinginkan sebelum nantinya diinokulasi dengan isolat jamur *P. chrysosporium*.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 3 perlakuan yaitu waktu inkubasi 0 hari, 15 hari dan 30 hari. Setiap perlakuan diulang 3 kali, sehingga total percobaan adalah 9 satuan.

Perbanyakan Isolat

Perbanyakan biakan murni *P. chrysosporium* yang diperoleh dari Laboratorium Patologi Fakultas Pertanian IPB dilakukan dengan menggunakan medium-PDA. Isolat murni tersebut diperbanyak dengan cara menginokulasi sebanyak satu ujung jarum *ent P. chrysosporium* ke bagian tengah Petri yang telah berisi medium PDA padat secara aseptik. Biakan diinkubasi hingga memenuhi cawan petri yang memerlukan waktu sekitar 14 hari.

Inokulasi

Serpih dengan berat 21 g BKT yang telah steril selanjutnya diinokulasi dengan memberikan 5 mL suspensi *P. chrysosporium*, kemudian dikocok supaya merata dan diinkubasi dalam suhu ruang. Suspensi isolat tersebut dibuat dengan menggunakan biakan jamur *P. chrysosporium* hasil inkubasi 14 hari yang diblender kemudian diberi 1,05 g per kantong. Pengamatan dilakukan pada 0, 15 dan 30 hari setelah inokulasi. Penghentian aktivitas jamur *P. chrysosporium* setelah berakhirnya setiap masa inkubasi dilakukan dengan menempatkan serpih tersebut pada *freezer* yang bersuhu - 20 °C.

Pengamatan Kerusakan Serat

Tumpukan-tumpukan serpih yang telah diinokulasi jamur *P. chrysosporium* dan telah habis masa inkubasinya kemudian dibuat berbentuk potongan kecil berukuran menyerupai korek api dengan ukuran 1 mm x 1 mm x 20 mm. Sampel tersebut selanjutnya dimaserasi dengan

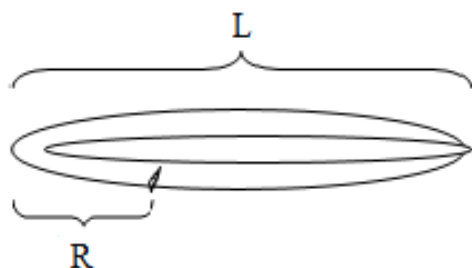
menggunakan *Fraklin's solution* yaitu 60% asam asetat glasial dan 40% hidrogen peroksida pada suhu 60 °C selama 48 jam.

Serat-serat yang telah terpisah dimasukkan ke dalam botol, selanjutnya diwarnai dengan memberi dua tetes safranin. Agar safranin merata pada seluruh serat maka botol tersebut digoyang pelan-pelan. Serat yang telah diwarnai tersebut kemudian dibilas dengan aquades (murni) dan disterilisasi dengan bilasan alkohol berturut-turut 30%, 50%, 70% dan 90%.

Pengamatan tingkat kerusakan serat dilakukan dengan menggunakan mikroskop pada pembesaran 400 x. Pengamatan dilakukan dengan cara meletakkan preparat serat pada gelas objek, selanjutnya gelas objek diletakkan di atas meja pengamatan mikroskop. Pengamatan dilakukan dengan melihat keutuhan serat, apabila serat tersebut tidak utuh atau mengalami kerusakan yang disebabkan oleh aktivitas hifa jamur, maka dibuat persentase kerusakan serat yang bersangkutan dengan formula :

$$K = \frac{\{R/2L\}\{100\}}{\{N\}}$$

Perhitungan persentase kerusakan serat berdasarkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema kerusakan serat

Keterangan :

K : Persentase kerusakan (%)

R : Jarak antar lokasi serat yang rusak dengan ujung serat

L : Panjang serat yang diamati

N : Total serat yang diamati (40 serat)

Jumlah serat yang diamati tingkat kerusakan dimensi seratnya masing-masing adalah 40 serat. Jumlah ini

ditentukan setelah dilakukan pengukuran serat pendahuluan terhadap 100 serat.

Pengukuran Dimensi Serat

Selain mengamati kerusakan serat, dimensi dari serat yang telah diberi jamur *P. chrysosporium* tersebut juga diukur. Pengukuran dilakukan dengan mikroskop terhadap serat hasil maserasi. Dimensi yang diukur adalah panjang serat, diameter serat dan diameter lumen. Panjang dari serat diukur pada pembesaran 10 x 10 dan diameter serta lumennya pada pembesaran 10 x 40 menggunakan mikrometer. Nilai tebal dinding serat diperoleh melalui pengurangan nilai diameter serat dengan diameter lumen kemudian dibagi 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerusakan Serat

Hasil pengamatan terhadap 360 serat (40 serat per ulangan) pada 3 perlakuan konsentrasi isolat *P. chrysosporium* ditemukan bahwa, ternyata persentase kerusakan serat adalah 0% (**Tabel 1**). Hal ini berarti bahwa sampai pada pengamatan 400x tidak terlihat adanya kerusakan serat akibat pemberian jamur (**Gambar 1**). Dapat diinterpretasikan bahwa *performance* serat tetap utuh walaupun telah diinkubasi dengan jamur *P. chrysosporium* pada konsentrasi 5% dengan waktu inkubasi hingga 30 hari.

Hasil pengamatan ini sejalan dengan pernyataan Hood (2003) bahwa cendawan *P. chrysosporium* mendegradasi lignin tanpa merusak selulosa kayu. Sebagaimana diketahui bahwa selulosa hanya ditemui pada dinding sel. Singh et al. (2010) menjelaskan bahwa jamur yang terkategori *white rot fungi* menghasilkan enzim *ligninase* yang berfungsi menyerang kandungan lignin dari kayu.

Lamella tengah sejati adalah lapisan yang terletak di antara dua dinding primer serat dan berfungsi sebagai perekat antara

serat-serat tersebut. Khalil, Yusra, Bhat, & Jawaid, (2010) mengatakan bahwa konsentrasi lignin tertinggi ditemukan pada lamella tengah sejati. Sementara itu telah umum diketahui bahwa dinding atau serat disusun oleh lignin dan holoselulosa, sedangkan zat ekstraktif kebanyakan melengket pada lumen atau rongga sel. Diduga bahwa serangan jamur yang terjadi hanya sampai pada lignin yang terdapat pada lamella tengah sejati tersebut sehingga belum merusak struktur dinding seratnya. Dugaan tersebut didasarkan pada hasil penelitian Yahya et al., (2007) yang menunjukkan bahwa akibat pemberian jamur *P. chrysosporium* pada konsentrasi 10% dan waktu inkubasi

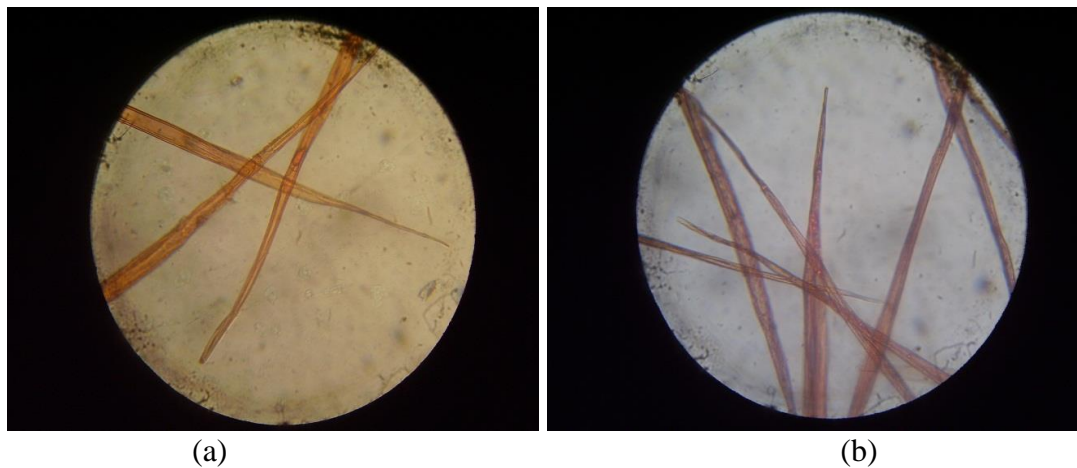
45 hari telah menyebabkan pengurangan lignin pada kayu mangium secara statistik sangat signifikan, namun di lain pihak tidak menunjukkan penurunan kadar holoselulosa dan alpha selulosa.

Yao, Wu, Xing, Zhou & Pu (2010) melaporkan bahwa kadar lignin batang mangium adalah 21,65%. Nilai lignin tersebut terkategori sedang karena masih dalam kisaran 19-33% (Departemen Pertanian, 1976). Hal ini diduga menjadi salah satu penyebab tidak terjadi degradasi holoselulosa dan α -selulosa karena lignin yang merupakan makanan utama jamur masih tersedia dalam jumlah cukup banyak, utamanya pada lamella tengah sejati.

Tabel 1. Hasil pengukuran persentase kerusakan serat batang *A. mangium* pada berbagai perlakuan konsentrasi dan lama inkubasi jamur *P. chrysosporium*

Perlakuan	Persentase kerusakan			Rata-rata
	I	II	III	
k ₅ w ₀	0 %	0 %	0 %	0 %
k ₅ w ₁₅	0 %	0 %	0 %	0 %
k ₅ w ₃₀	0 %	0 %	0 %	0 %

Keterangan : rata-rata diperoleh dari setiap perlakuan dibagi dengan 3 ulangan.



Gambar 1. Serat batang kayu *Acacia mangium* Willd tanpa (a) dan yang telah (b) diberi jamur *P. chrysosporium* pada konsentrasi 5% dan lama inkubasi 30 hari.

Tabel 2. Nilai rata-rata hasil pengukuran dimensi serat batang mangium pada tiga perlakuan waktu inkubasi jamur *P. chrysosporium*.

Perlakuan	Dimensi Serat (mikron)			
	Panjang serat (μ)	Diameter serat (μ)	Diameter lumen (μ)	Tebal dinding sel (μ)
k ₅ w ₀	897,93 ± 161,26	22,73 ± 4,63	15,04 ± 4,68	3,84 ± 1,30
k ₅ w ₁₅	950,12 ± 163,94	21,54 ± 4,87	14,86 ± 3,79	3,35 ± 1,62
k ₅ w ₃₀	970,32 ± 141,87	22,50 ± 4,35	16,98 ± 4,61	2,76 ± 1,12

Keterangan : Nilai rata-rata ± standar deviasi serat

Kualitas Serat Hasil Inokulasi Jamur *P. chrysosporium*

Rekapitulasi hasil pengukuran dimensi serat pada 3 waktu inkubasi disajikan pada **Tabel 2**. Klasifikasi panjang serat menurut *International Association of Wood Anatomist* (IAWA), menyebutkan bahwa serat dengan panjang antara 901 sampai dengan 1600 μm terkategori serat dengan panjang sedang (IAWA Committee, 1989).

Panjang serat batang mangium yang telah diinokulasi jamur *P. chrysosporium* dengan waktu inkubasi 0, 15 dan 30 hari berturut-turut adalah 897,93 , 950,12 dan 970,32 μm . Berdasarkan data ini dapat dikatakan bahwa panjang dari serat yang telah diberi jamur *P. chrysosporium* tersebut terkategori memiliki panjang yang sedang. Kategori dari serat mangium hasil inokulasi ini sama dengan kategori panjang serat dari batang sengon (*Paraseriathes falcataria* L. Nielsen) yaitu 1,07 μm , yang juga tergolong sedang (Ishiguri, et al., 2007)

IAWA membagi ketebalan dinding serat atas tiga kategori yaitu: sangat tipis, tipis sampai tebal dan sangat tebal. Sangat tipis jika diameter rongga tiga kali lipat atau lebih dari tebal dua dinding serat. Dinding serat disebut tipis sampai tebal jika diameter rongga kurang dari 3 kali tebal dua dinding serat dan masih terlihat terbuka rongganya. Terkategori dinding serat sangat tebal jika rongga serat hampir tertutup semuanya (IAWA Committee, 1989). Jika didasarkan pada klasifikasi ini, maka serat batang mangium yang telah diinokulasi dengan *P. chrysosporium* termasuk berdinding tipis (sampai tebal) atau belum terkategori sangat tebal (**Tabel 2**). Tebal dinding serat sengon yang diteliti oleh (Ishiguri et al., 2009) juga terkategori tipis.

Fatriasari & Risanto (2011) melaporkan bahwa batang sengon yang panjang dan ketebalan dinding seratnya terkategori sama dengan serat mangium yang telah diinokulasi dengan jamur 5% selama 30 hari, mampu

menghasilkan pulp dengan rendemen yang terkategori tinggi (46,12%) menurut (Departemen Pertanian, 1976). Pirralho et al. (2014) mengatakan bahwa panjang serat berpengaruh positif terhadap kekuatan tarik dan jebol dari kertas yang dihasilkan, sementara ketebalan dinding serat tersebut berbanding terbalik dengan kekuatan sobeknya. Berdasarkan uraian ini, dapat diprediksi bahwa serat batang mangium yang telah diinokulasi jamur dengan konsentrasi 5% hingga waktu inkubasi 30 hari akan dapat menghasilkan pulp yang juga berendemen dan berkekuatan mekanik yang tinggi.

KESIMPULAN

Serpah batang mangium yang telah diinokulasi dengan jamur *P. chrysosporium* pada konsentrasi 5% dan waktu inkubasi hingga 30 hari tidak mengalami kerusakan serat (0%), artinya serat-serat penyusun serpih kayu tetap utuh, walaupun telah diberi jamur tersebut. Serat-serat itu memiliki panjang yang terkategori sedang dan dinding yang tergolong tipis (sampai tebal) sehingga diprediksi akan menghasilkan pulp yang berendemen tinggi dan kertas yang kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert, S., & Padhiar, A. (2012). Characterisation of biologically pretreated raw materials for biopulping process. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical technology*, 3(4), 369-375. Retrieved from <http://www.ijabpt.org/applied-biology/characterisation-of-biologically-pretreated-raw-materials-for-biopulping-process.php?aid=4872>
- Ashger, M., Iqbal, H.M.N., Asad, M.J., (2012). Kinetic characterization of purified laccase produced from *Trametes versicolor* IBL-04 in solid

- state bio processing of corn cobs. *BioResources* 7, 1171-1188.
- Battan, B., Sharma, J., Dhiman, S. S., and Kuhad, R. C. (2007). Enhanced production of cellulose-free thermostable xylanase by *Bacillus pumilus* ASH and its potential application in paper industry. *Enzyme and Microbial Technology*. 41, 733-739.
- Da Re, V., Papinutti, L., Forchiassin, F., Levin, L., (2010). Biobleaching of loblolly pine kraft pulp with *Trametes trogii* culture fluids followed by a peroxide stage. Application of Doehlert experimental design to evaluate process parameters. *Enzyme and Microbial Technology*. 46, 281-286.
- Departemen Pertanian. (1976). *Vademekum Kehutanan*. Jakarta.
- Fatriasari, W., & Risanto, L. (2011). The properties kraft pulp sengon wood (*Paraserianthes falcataria*): Differences of cooking liquor concentration and bleaching sequence. *Widyariset*, 14(3), 589–598.
- Ferraz, A., Guerra, A., Mendonça, R., Masarin, F., Vicentim, M. P., Aguiar, A., & Pavan, P. C. (2008). Technological advances and mechanistic basis for fungal biopulping. *Enzyme and Microbial Technology*, 43(2), 178–185. <http://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2007.10.002>
- Fonseca, M. I., Fariña, J. I., Castrillo, M. L., Rodríguez, M. D., Nuñez, C. E., Villalba, L. L., & Zapata, P. D. (2014). Biopulping of wood chips with *Phlebia brevispora* BAFC 633 reduces lignin content and improves pulp quality. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 90, 29–35. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.11.018>
- Giles, R. L., Galloway, E. R., Elliott, G. D., & Parrow, M. W. (2011). Two-stage fungal biopulping for improved enzymatic hydrolysis of wood. *Bioresource Technology*, 102(17), 8011–8016. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.031>
- Giles, R. L., Zackeru, J. C., Elliott, G. D., & Parrow, M. W. (2012). Fungal growth necessary but not sufficient for effective biopulping of wood for lignocellulosic ethanol applications. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 67, 1–7. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.11.007>
- Hood, I. (2003). *An introduction to fungi of wood in Queensland*. University of New England Printery.
- IAWA Committee. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification with an appendix on non-anatomical information, *IAWA Bulletin New Series*, 10: 219 - 332.
- Ishiguri, F., Eizawa, J., Saito, Y., Lizuka, K., Yokota, S., Priadi, D., & Yoshizawa, N. (2007). Variation in the wood properties of *Paraserianthes falcataria* planted in Indonesia. *IAWA Journal*, 28(3), 339–348.
- Ishiguri, F., Hiraiwa, T., Iizuka, K., Yokota, S., Priadi, D., Sumiastri, N., & Yoshizawa, N. (2009). Radial variation of anatomical characteristics in *Paraserianthes falcataria* planted in Indonesia. *IAWA Journal*, 30(3), 343 – 352.
- Khalil, H. P. S. A, Yusra, A. F. I., Bhat, A. H., & Jawaid, M. (2010). Cell wall ultrastructure, anatomy, lignin distribution, and chemical composition of Malaysian cultivated kenaf fiber. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 113–121. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.09.008>
- Levin, L., Villalba, L., Da Re, V., Forchiassin, F., & Papinutti, L. (2007). Comparative studies of loblolly pine biodegradation and

- enzyme production by Argentinean white rot fungi focused on biopulping processes. *Process Biochemistry*, 42(6), 995–1002. <http://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.03.008>
- Liew, C. Y., Husaini, A., Hussain, H., Muid, S., Liew, K. C., & Roslan, H. A. (2011). Lignin biodegradation and ligninolytic enzyme studies during biopulping of *Acacia mangium* wood chips by tropical white rot fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(6), 1457–1468. <http://doi.org/10.1007/s11274-010-0598-x>
- Pirralho, M., Flores, D., Sousa, V. B., Quilhó, T., Knapic, S., & Pereira, H. (2014). Evaluation on paper making potential of nine Eucalyptus species based on wood anatomical features. *Industrial Crops and Products*, 54, 327–334. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.040>
- Singh, P., Sulaiman, O., Hashim, R., Peng, L. C., & Singh, R. P. (2013). Evaluating biopulping as an alternative application on oil palm trunk using the white-rot fungus *Trametes versicolor*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 82, 96–103. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.12.016>
- Singh, P., Sulaiman, O., Hashim, R., Rupani, P. F., & Peng, L. C. (2010). Biopulping of lignocellulosic material using different fungal species: a review. *Reviews in Environmental Science and BioTechnology*, 9(2), 141–151. <http://doi.org/10.1007/s11157-010-9200-0>
- van Beek, T. A., Kuster, B., Claassen, F. W., Tienverier, T., Bertaud, F., Lenon, G., & Sierra-Alvarez, R. (2007). Fungal bio-treatment of spruce wood with *Trametes versicolor* for pitch control: Influence on extractive contents, pulping process parameters, paper quality and effluent toxicity. *Bioresource Technology*, 98(2), 302–311. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.008>
- van Heerden, A., le Roux, N. J., Swart, J., Gardner-Lubbe, S., & Botha, A. (2008). Assessment of wood degradation by *Pycnoporus sanguineus* when co-cultured with selected fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(11), 2489–2497. <http://doi.org/10.1007/s11274-008-9773-8>
- Yahya, R., Koze, K., & Sugiyama, J. (2011). Fibre length in relation to the distance from vessels and contact with rays in *Acacia mangium*. *IAWA Journal*, 32(3), 341–350.
- Yahya, R., Mucharromah., dan Silsia, D. (2007). Pengaruh pemberian jamur *Phanerochaeta chrysosporium* terhadap perubahan komponen kimia campuran batang dan limbah cabang Mangium sebagai bahan baku pulp. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. Edisi khusus 2 ;208-214
- Yahya, R., Sugiyama, J., Silsia, D., & Gril, J. (2010). Some anatomical features of an *Acacia* hybrid, *A. mangium* and *A. auriculiformis* grown in Indonesia with regard to pulp yield and paper strength. *Journal of Tropical Forest Science*, 22 (3), 343–351.
- Yahya, R., Sundaryono, A., Imai, T., & Sugiyama, J. (2015). Distance from vessels changes fiber morphology in *Acacia mangium*. *IAWA Journal*, 36(1), 36–43.
- Yang, Q., Zhang, H., Wang, S., Fu, S., & Li, K. (2007). Bio-modification of Eucalyptus chemithermomechanical

- pulp with different white rot fungi.
BioResources 2:682-692.
- Yao, S., Wu, G., Xing, M., Zhou., S., & Pu, J. (2010). Determination of lignin content in *Acacia spp.* Using near-infrared reflectance spectroscopy. *BioResources* 5(2), 556-562.