

PENGARUH APLIKASI JAMUR PELAPUK PUTIH PADA *BIOPULPING* RAMI (*Boehmeria nivea*) TERHADAP KUALITAS PULP BELUM PUTIH

Chandra Apriana Purwita, Hendro Risdianto*

Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot No. 132, Bandung

Diterima : 29 Juli 2016, Revisi akhir : 23 Desember 2016, Disetujui terbit : 30 Desember 2016

*EFFECT OF WHITE ROT FUNGI APPLICATION IN BIOPULPING OF RAMIE (*Boehmeria Nivea*) ON THE QUALITY OF UNBLEACHED PULP*

ABSTRACT

The research of white rot fungi application in biopulping ramie has been done to obtain the effective fungus. The study was conducted in 3 stages: biopulping, cooking, and manufacture of pulp handsheets. The biopulping of ramie was done by varying four species of fungi which were *Phanerochaete chrysosporium*, *Marasmius* sp., *Trametes hirsuta*, and *Trametes versicolor*, with temperature of $\pm 28^{\circ}\text{C}$ for 7 days. The cooking was done on ramie from selected biopulping treatment and compared with untreated one. The experiments was carried out by soda cooking in a rotating digester at 12% active alkaline, ratio of the solid to liquid 1: 5, temperature of 165°C , time of 3.5 hours. Next step was the manufacture of pulp handsheets. The observations were conducted on percent lignin removal, Kappa number, burst and tear index. The results showed that *Marasmius* sp. with the laccase activity of 0.1638 U/mL was the best with 40.4% of lignin removal degree. The ramie cooking process with *Marasmius* sp. treatment produced unbleached pulp with 7.2% lower Kappa number compared to the untreated one. The pulp that has been treated with *Marasmius* sp. produced better quality unbleached pulp with the physical properties of burst and tear index of 10.52 mNm^2/g and 1.24 kN/g , respectively.

Keywords: ramie, biopulping, lignin removal, white root fungi

ABSTRAK

Penelitian aplikasi jamur pelapuk putih pada *biopulping* rami telah dilakukan dengan tujuan mendapatkan jenis jamur yang efektif. Penelitian dilakukan dalam 3 tahap : *biopulping*, pemasakan, dan pembuatan lembaran pulp. *Biopulping* rami dilakukan dengan variasi 4 spesies jamur, yaitu *Phanerochaete chrysosporium*, *Marasmius* sp., *Trametes hirsuta*, dan *Trametes versicolor*, pada kondisi suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$ selama 7 hari. Pemasakan dilakukan terhadap rami dari perlakuan *biopulping* terpilih dan dibandingkan dengan rami tanpa perlakuan jamur. Percobaan pemasakan dilakukan dengan proses soda dalam digester berputar pada kondisi alkali aktif 12%, rasio padatan terhadap cairan pemasak 1:5, suhu 165°C , waktu 3,5 jam. Selanjutnya, dilakukan pembuatan lembaran pulp rami. Pengamatan dilakukan terhadap persentase penyisihan lignin, bilangan Kappa, indeks sobek, dan indeks retak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Marasmius* sp. dengan aktivitas lakase 0,1638 U/mL merupakan yang terbaik dengan derajat penyisihan lignin 40,4%. Proses pemasakan rami dengan perlakuan *Marasmius* sp. menghasilkan pulp belum putih dengan bilangan Kappa lebih rendah 7,2% dibandingkan tanpa perlakuan jamur. Kualitas pulp yang telah diberi perlakuan jamur *Marasmius* sp. menghasilkan pulp belum putih yang lebih baik, dengan sifat fisik indeks retak dan indeks sobek berturut-turut 10,52 mNm^2/g dan 1,24 kN/g .

Kata kunci: rami, *biopulping*, penyisihan lignin, jamur pelapuk putih

PENDAHULUAN

Kebutuhan kertas di dunia semakin meningkat walaupun adanya penetrasi teknologi digital (internet) yang juga terus meningkat. Kertas tulis cetak (koran, buku, dan majalah) semakin menurun penggunaannya karena perkembangan teknologi digital namun kenaikan terjadi pada produk kertas kemasan dan kertas tisu (Andrés *et al.*, 2014). Penggunaan kertas rata-rata naik 1,9% per tahun pada satu dekade terakhir dan diperkirakan akan menjadi 2,4% untuk lima tahun mendatang (Brandt, 2014). Bahan baku utama untuk membuat pulp dan kertas adalah kayujarum (*softwood*) dan kayudaun (*hardwood*). Namun, penggunaan kayu terus menerus dengan penebangan hutan mendapatkan perhatian serius dari pemerhati lingkungan karena kekhawatiran efek jangka panjang terhadap habitat alam sekitarnya. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif bahan baku untuk pulp dan kertas yang tidak merusak lingkungan dan salah satunya adalah bahan baku dari tanaman non-kayu (Ashori, 2006).

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber tanaman serat non-kayu. Beberapa jenis serat non kayu terutama serat yang termasuk klasifikasi serat panjang memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai alternatif bahan baku kertas khusus, antara lain kertas rokok, kertas peta, kertas arsip, kertas yang memiliki ketahanan lipat dan daya simpan tinggi seperti kertas uang. Sampai saat ini, kebutuhan serat panjang di Indonesia masih tergantung pada impor. Beberapa tanaman non kayu di Indonesia penghasil serat panjang antara lain abaka, kenaf, dan rami (Sudjindro, 2011). Rami (*Bohmeria nivea*) merupakan tanaman yang dapat tumbuh di daerah subtropis dan tropis dengan umur 6 – 20 tahun dan dapat dipanen 5 – 6 kali dalam satu tahun. Pemanenan dapat menghasilkan 26 ton batang basah dengan rendemen sebesar 3,5 – 4% (sekitar 1,3 ton serat rami per hektar) tergantung kondisi lingkungan dan perawatannya (Rifaída, 2009). Serat rami merupakan salah satu serat alam untuk bahan tekstil (Kalita *et al.*, 2013), namun dapat dimanfaatkan juga untuk aplikasi lainnya seperti komposit peredam suara (Rifaída, 2009; Yang and Li, 2012), interior automotif (Romanzini *et al.*, 2013), pulp (Sugesty *et al.*, 1999), dan kertas (Wirawan *et al.*, 2010).

Tanaman rami mengandung abu 6,33%, ekstraktif 3,37%, lignin 27,27%, pentosan

16,14%, dan selulosa alfa 33,76% (Sugesty *et al.*, 1999). Untuk memperoleh seratnya perlu dilakukan penyisihan lignin (*biopulping*). Penyisihan lignin dapat dilakukan dengan banyak cara, yang salah satunya adalah dengan menerapkan teknologi bioproses. Teknologi bioproses untuk penyisihan lignin dapat dilakukan dengan memanfaatkan aktivitas jamur pelapuk putih yang antara lain adalah jamur *Marasmius* sp. (Risdiando, 2015), *Phanerochaete chrysosporium* (Masarin *et al.*, 2009), *Trametes hirsuta* (van Beek *et al.*, 2007), dan *Trametes versicolor* (Singh *et al.*, 2013). Penyisihan oleh jamur adalah melibatkan lignin peroksidase, manganese peroksidase dan lakase dalam penyisihan lignin bahan baku (Singh *et al.*, 2013).

Biopulping merupakan teknologi ramah lingkungan yang saat ini banyak dikembangkan di industri pulp dan kertas. Penerapan *biopulping* di industri pulp dan kertas merupakan perlakuan sebelum proses pemasakan menggunakan bahan kimia (Scott *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2007). Proses *biopulping* memberikan keuntungan antara lain penghematan energi (Ferraz *et al.*, 2008), mengurangi konsumsi klorin pada proses pemutihan dan mengurangi polutan ke lingkungan (Yadav *et al.*, 2010; Risdiando *et al.*, 2011). Atas dasar tersebut, penelitian penggunaan jamur pelapuk putih pada *biopulping* rami dilakukan dengan tujuan memperoleh jenis jamur yang efektif pada perlakuan awal rami sebelum proses pemasakan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari serat rami, kultur jamur pelapuk putih dan medium pertumbuhan jamur. Serat rami diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Malang. Serat rami dikeringkan di bawah sinar matahari, kemudian dipotong menjadi berukuran sekitar 5 cm. Kultur jamur pelapuk putih yang digunakan adalah *Marasmius* sp., *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes hirsuta*, dan *Trametes versicolor* yang diperoleh dari Teknik Kimia – ITB. Medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) digunakan untuk pemeliharaan kultur dan medium Kirk termodifikasi (Risdiando *et al.*, 2012) untuk percobaan penelitian. Komposisi medium Kirk (g/L): glukosa 10; KH_2PO_4 1,7; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,4; CaCl_2 0,09; natrium asetat

2,3; diammonium tartrat 0,4; $MnCl_2$ 0,02; ekstrak ragi 0,3; $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,01; H_2MoO_4 0,007; $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 0,01; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,006; dan $Fe_2(SO_4)_3$ 0,007.

Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain: *rotary digester CRS reactor engineering AB* dengan kapasitas 6 L, *washing line CRS 320*, Thomas Wiley Mill, spektrofotometer Genesys 20, *shaker*, *incubator*, *autoclave*, dan peralatan gelas lainnya yang umum digunakan di laboratorium mikrobiologi dan laboratorium kimia.

Tahapan Percobaan

Percobaan dilakukan dalam 3 tahap, yaitu penyisihan lignin (proses *biopulping*), proses pemasakan, pembuatan dan pengujian sifat fisik lembaran pulp. Beberapa persiapan sebelum percobaan dilakukan adalah analisis komponen kimia dan morfologi serat, serta sterilisasi serat rami. Selain itu juga dilakukan persiapan kultur jamur pelapuk putih. Uraian dari masing-masing kegiatan adalah sebagai berikut:

a. Persiapan Percobaan

Analisis Kimia dan Morfologi Serat Rami

Rami dikeringkan di dalam oven dengan suhu $105 \pm 3^\circ C$ selama 4 jam, kemudian dibuat menjadi serbuk dengan menggunakan Wiley Mill. Serbuk rami diayak dengan *mesh siever* ukuran 60 mesh. Parameter analisis serat rami terdiri atas: kadar abu (SNI 0442:2009), silikat (SNI ISO 776:2010), ekstraktif (SNI 14-1032-1989), lignin (SNI 0492-2008), holoselulosa (ASTM D1104 – 56), selulosa alfa (SNI 0444:2009), pentosan (SNI 14-1304-1989), kelarutan dalam air dingin dan air panas (SNI 01-1305-1989), dan kelarutan dalam NaOH 1% (SNI 14-1838-1990). Selain itu, dilakukan juga pengamatan morfologi serat rami (SNI 01-1840-1990).

Sterilisasi Serat Rami

Potongan serat rami sebanyak 50 gram keringoven dimasukkan ke dalam kantong plastik tahan panas, kemudian disterilisasi pada suhu $121^\circ C$ selama 20 menit. Serat rami steril kemudian ditambahkan medium Kirk

termodifikasi (Risdianto *et al.*, 2012) sebanyak 100 mL dan diaduk hingga homogen.

Kultur Jamur Pelapuk Putih

Kultur jamur pelapuk putih ditumbuhkan menggunakan medium PDA dalam cawan petri diameter 9 cm dan diinkubasi pada suhu $28^\circ C$ selama 7 hari. Kultur hasil inkubasi disimpan pada suhu $4^\circ C$ sebelum digunakan.

b. Pelaksanaan Percobaan

Biopulping

Percobaan *biopulping* dilakukan dengan variasi perlakuan 4 jenis kultur jamur dengan masing-masing dua ulangan. Serat rami steril dalam kantong plastik dinokulasi oleh masing-masing perlakuan jenis jamur pelapuk putih umur 7 hari, kemudian diinkubasi pada suhu $28^\circ C$ selama 7 hari. Setelah inkubasi berakhir, serat rami dianalisis kadar lignin. Rami dari perlakuan *biopulping* terbaik, yaitu yang memberi persentase penyisihan lignin tertinggi dianalisis struktur mikroskopis dan dilakukan uji aktivitas lakase. Analisis struktur mikroskopis rami dilakukan di Laboratorium SEM-FMIPA ITB menggunakan SEM (JEOL-JSM-6510LA) tanpa pelapisan (*coating*). Uji aktivitas lakase diawali dengan ekstraksi lakase dari kultur jamur terpilih menggunakan larutan penyangga asetat $0,1 \text{ mol/L}$ ($pH = 4,6$) sebanyak 2 kali medium Kirk. Larutan kemudian diagitasi menggunakan *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 2 jam. Larutan enzim dan substrat dikeluarkan dari labu Erlenmeyer kemudian ditumbuk menggunakan mortar, disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 6000 rpm suhu $4^\circ C$, dan siap dilakukan uji aktivitas lakase. Pengukuran aktivitas enzim dilakukan menurut Childs *et al.* (1975) 2'-azino-di-(3-ethylbenzthiazoline- 6-sulphonic acid dengan cara memasukkan supernatan contoh sebanyak 60 μL ke dalam 1140 μL larutan ABTS (2,2'-azino-di-[asam 3-etil-benzo-thiazolin-6-sulfanoat]) 0,4 mM dalam larutan penyangga natrium asetat ($pH 4,6$) yang terdapat di dalam kuvet, selanjutnya campuran supernatan dan ABTS dikocok agar tercampur homogen. Absorbansi radikal kation diamati pada panjang gelombang 420 nm ($e_{mM} = 36 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$) selama lima menit menggunakan spektrofotometer. Perubahan absorbansi radikal kation diamati setiap menit selama 5 menit. Setiap contoh dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

Satu unit aktivitas didefinisikan sebagai jumlah enzim yang dapat mengoksidasi 1 μmol ABTS tiap menit pada suhu 28°C.

Proses Pemasakan

Pemasakan hanya dilakukan terhadap serat rami dari perlakuan *biopulping* terpilih, yaitu yang memberikan persen penyisihan lignin tertinggi dan dibandingkan dengan rami tanpa perlakuan jamur. Setiap perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak dua kali. Proses pemasakan dilakukan dengan proses soda dalam *digester* berputar (*rotary digester*) kapasitas 6 L. Kondisi proses pemasakan adalah sebagai berikut: jumlah sampel rami 350 g kering udara, alkali aktif 12%, rasio padatan terhadap cairan pemasak 1:5, suhu 165°C, waktu 3,5 jam (waktu tuju 2 jam dan waktu pada 1,5 jam). Pulp yang dihasilkan dicuci, disaring, dan dipres. Pengamatan dilakukan terhadap parameter kadar air dan bilangan Kappa. Analisis kadar air menggunakan SNI 08-7070-2005 dan analisis bilangan Kappa menggunakan SNI 0494-2008.

Pembuatan dan Pengujian Sifat Fisik Lembaran Pulp

Pembuatan lembaran dilakukan terhadap pulp rami dari perlakuan *biopulping* terpilih dan telah dimasak dengan proses soda seperti yang dijelaskan di atas. Lembaran pulp dibuat sebanyak 10 lembar sesuai SNI ISO 5269-1:2012. Pulp yang telah kering udara, kemudian disimpan pada ruang kondisi suhu $23 \pm 1^\circ\text{C}$ dan RH $50 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Parameter analisis terhadap lembaran pulp meliputi sifat fisik yang terdiri dari indeks sobek (SNI 0436:2009) dan indeks retak (SNI ISO 2758:2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen Kimia dan Morfologi Serat Rami

Komponen utama rami adalah selulosa, hemiselulosa, lignin, ekstraktif, dan mengandung sedikit abu seperti disajikan dalam Tabel 1. Kadar holoselulosa mencapai 71,02%, pentosan sekitar 15,53%, dan selulosa sekitar 43,34%. Menurut Khalil *et al.*, (2006) bahan baku yang sesuai untuk pembuatan pulp harus mengandung kadar selulosa mendekati atau lebih dari 40%.

Tabel 1. Komponen kimia rami

No	Parameter	Nilai, %
1	Holoselulosa	71,02
2	Selulosa alfa	43,34
3	Pentosan sebagai hemiselulosa	15,53
4	Lignin	22,77
5	Ekstraktif	3,19
6	Abu	4,12
7	Kelarutan dalam NaOH 1%	29,71
8	Kelarutan dalam air dingin	9,08
9	Kelarutan air panas	11,45

Lignin merupakan polimer yang tidak diinginkan berada dalam pulp dan selama proses pemasakan perlu disisihkan menggunakan bahan kimia dan energi yang besar. Kadar lignin pada rami adalah 22,77%. Ekstraktif dapat menyebabkan masalah selama proses pembuatan pulp dan menurunkan kualitas produk akhir. Kadar ekstraktif yang tinggi dapat menyebabkan menurunnya perolehan pulp. Kadar ekstraktif rami, yaitu 3,19%.

Serat diklasifikasikan menjadi 3 kelompok berdasarkan panjangnya. Kelompok pertama adalah serat dengan panjang kurang dari 0,9 mm, kelompok kedua adalah serat dengan panjang antara 0,9 – 1,9 mm, dan kelompok ketiga adalah serat dengan panjang lebih dari 1,9 mm (Khakifirooz *et al.*, 2013). Dimensi dan turunan dimensi serat rami disajikan dalam Tabel 2. Rami memiliki panjang serat sekitar 17,12 mm sehingga termasuk dalam klasifikasi serat panjang, yaitu kelompok ketiga. Panjang serat rami tersebut lebih panjang dari serat kayujarum dan setara dengan panjang serat *hemp* (15 – 25 mm) (Wang *et al.*, 2007) dan mendekati panjang serat dari kapas (20 – 30 mm).

Nilai kelangsingan rami (615,83) lebih besar daripada kenaf (105,9) dan kayujarum (95 – 120) (Ververis *et al.*, 2004). Nilai kelangsingan yang baik untuk pembuatan pulp dan kertas adalah di atas 33 (Kiaei *et al.*, 2014). Panjang serat dan nilai kelangsingan tinggi akan menghasilkan pulp dengan kekuatan sobek yang tinggi. Rami memiliki bilangan Runkel 0,99 yang berarti mudah untuk digiling (*refining*). Nilai standar bilangan Runkel agar mudah digiling adalah kurang dari 1 (Udohitinah *et al.*, 2011).

Tabel 2. Morfologi serat rami

No	Parameter	Nilai
1	Panjang serat, rata-rata, L (mm)	17,12
2	Diameter luar, D (μm)	27,8
3	Diameter dalam (lumen), l (μm)	13,97
4	Tebal dinding, w (μm)	6,92
5	Bilangan <i>Runkel</i> , $2w/l$	0,99
6	Kelangsingan, L/D	615,83
7	Kekakuan, w/D	0,25
8	Kelenturan, l/D	0,5
9	Perbandingan Muhlstep (%)	74,74

Kelenturan rami adalah 50%, yang menandakan bahwa serat rami bersifat elastis. Serat yang elastis memiliki nilai kelenturan antara 50-75% (Kiaei *et al.*, 2014). Oleh karena itu, berdasarkan bilangan *Runkel* dan fleksibilitas maka serat rami ini akan sesuai untuk proses *refining* pada pembuatan pulp.

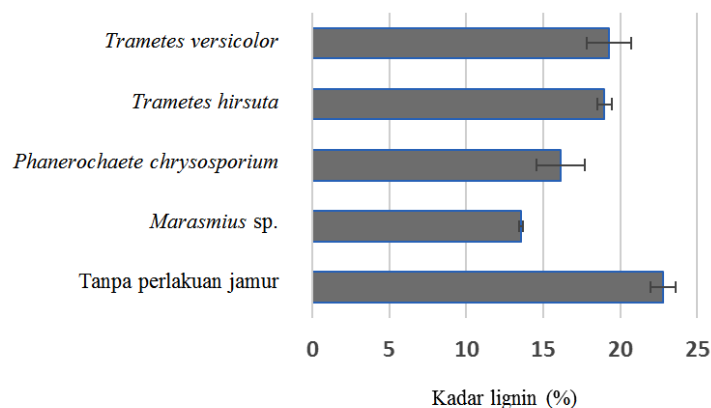
Biopulping

Pertumbuhan jamur pelapuk putih pada serat rami mengindikasikan bahwa jamur dapat menggunakan nutrisi dalam rami dan mengikatnya. Proses perlakuan dengan jamur ini mirip dengan fermentasi kultur padat (*solid state fermentation*). Pemotongan serat dengan ukuran 5 cm membantu pertumbuhan jamur karena meningkatkan luas permukaan untuk pertumbuhan hifa jamur. Niladevi *et al.*, (2007) menyatakan bahwa luas permukaan merupakan

salah satu faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan jamur pada fermentasi kultur padat. Proses perlakuan jamur ini dilaksanakan pada suhu ruang $\pm 28^\circ\text{C}$, dan sejalan dengan fermentasi kultur padat yang dilakukan oleh Pandey *et al.*, (2008) dan Risdianto *et al.*, (2010), yang melaporkan bahwa fermentasi umumnya dilakukan menggunakan mikroorganisme mesofilik pada rentang suhu 20 - 50°C .

Efektivitas jamur pelapuk putih pada proses *biopulping* diindikasikan dengan penurunan kadar lignin selama inkubasi. Gambar 1 menyajikan kadar lignin setelah proses inkubasi oleh *Marasmius sp.*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes hirsuta*, dan *Trametes versicolor*. Kadar awal lignin dalam rami adalah 22,77% setelah 7 hari inkubasi dengan jamur *Marasmius sp.* kadar lignin menjadi 13,57% (derajat penyisihan lignin 40,4%). Penyisihan lignin 16,6%, 15,4%, dan 29,1% diperoleh dengan inkubasi menggunakan jamur *Trametes hirsuta*, *Trametes versicolor* dan *Phanerochaete chrysosporium*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Marasmius sp.* merupakan jamur pelapuk putih yang paling baik untuk mendegradasi lignin pada rami. *Marasmius sp.* juga telah berhasil menyisihkan lignin pada tandan kosong sawit dengan nilai selektivitas 0,3 dan degradasi lignin 0,95% (Kamcharoen *et al.*, 2014). Keempat jamur menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu mampu menyisihkan lignin. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa lignin pada kayu karet juga berhasil disisihkan oleh *Trametes versicolor* dengan selektivitas terhadap lignin antara 1,07 – 1,16 (Nazarpour *et al.*, 2013).



Gambar 1. Kadar lignin pada rami yang diberi perlakuan jamur sesudah inkubasi

Selektivitas terhadap lignin sangat diperlukan untuk menghindari turunnya viskositas pulp atau turunnya kekuatan pulp (Widsten *et al.*, 2008).

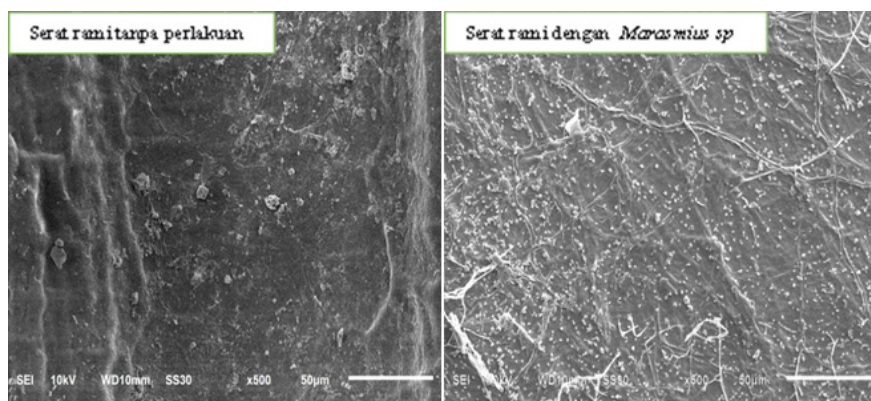
Struktur mikroskopis rami sebelum dan sesudah perlakuan dengan jamur dapat dilihat pada Gambar 2 yang menunjukkan adanya degradasi pada permukaan rami yang kemungkinan adalah lignin. Bintik-bintik putih pada gambar kanan menunjukkan spora *Marasmius* sp. yang tumbuh pada permukaan serat rami. Menurut Singh *et al.*, (2011) degradasi lignin oleh jamur terbatas pada bagian permukaan serpih kayu. Hifa jamur tumbuh di seluruh permukaan serat rami dan degradasi lignin pada permukaan serat menyebabkan cairan pemasak akan mudah untuk mendegradasi sisa lignin. Degradasi lignin pada permukaan serat menyebabkan permukaan serat rami yang mendapatkan perlakuan jamur tampak lebih kasar dan tampak berserat sehingga serat selulosa lebih jelas terlihat. Terjadinya penyisihan lignin rami oleh *Marasmius* sp. menunjukkan adanya aktivitas lakase (Gambar 3). Aktivitas lakase terbesar terjadi pada hari ke-3 inkubasi, yaitu sebesar 0,1638 U/mL, kemudian turun menjadi 0,1334 U/mL pada hari ke-7. Jamur pelapuk putih yang dapat menyisihkan lignin umumnya mensekresikan enzim pendegradasi lignin seperti lignin peroksidase, manganese peroksidase, dan lakase (Yadav *et al.*, 2010). Lignin peroksidase dengan kehadiran hidrogen peroksida mampu mengkatalisis oksidasi cincin aromatik non-fenolik pada lignin menjadi radikal. Mangan peroksidase membutuhkan Mn^{2+} dan mampu mengoksidasi gugus fenolik pada lignin. Mangan dengan bilangan oksidasi 3^{+} merupakan oksidator

kuat yang mampu menyerang molekul lignin. Lakase menggunakan oksigen sebagai kosubstrat. Enzim tersebut mengoksidasi subunit fenolik pada lignin dan mereduksi oksigen pada air.

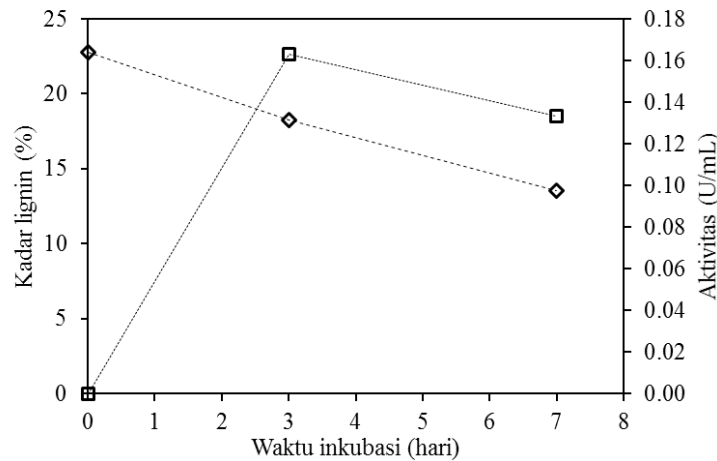
Degradasi lignin bersifat oksidatif dan terjadi secara aerobik. Jamur pelapuk putih memiliki kemampuan yang unik untuk depolimerisasi, memecah ikatan C-C, memineralisasi lignin dengan enzim ligninolitiknya (Isroi *et al.*, 2011). Enzim ekstraseluler dihasilkan secara konstitutif (terus menerus) dalam jumlah yang sedikit (Loera Corral *et al.*, 2006). Namun, produksi enzim ini tidak berhubungan dengan pertumbuhan jamur, sehingga mengindikasikan enzim ligninolitik ini hanya dapat diproduksi pada medium tertentu melalui metabolisme sekunder. Tanpa adanya inducer namun dengan pembatasan karbon pada medium, jamur pelapuk putih dapat memproduksi enzim ligninolitik, pada saat nutrisi sumber karbon terbatas, mengubah jalur metabolisme, dan mengaktifkan metabolisme sekunder (Xavier *et al.*, 2007).

Pemasakan Rami

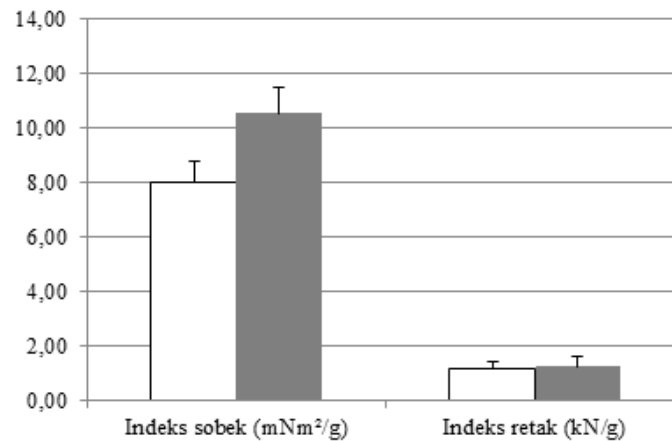
Setelah perlakuan dengan jamur pelapuk putih, maka terpilih rami yang mendapat perlakuan dengan *Marasmius* sp. untuk diproses/dimasak dalam *digester* untuk meningkatkan kembali degradasi lignin sampai mencapai bilangan Kappa tertentu. Bilangan Kappa menunjukkan pengukuran tidak langsung kadar lignin dalam pulp. Bilangan Kappa tinggi menandakan bahwa kadar lignin pulp juga tinggi begitu juga sebaliknya. Tanpa perlakuan *Marasmius* sp.,



Gambar 2. Foto SEM rami dengan dan tanpa perlakuan *Marasmius* sp. (perbesaran 500x)



Gambar 3. Kadar lignin dan aktivitas lakase selama inkubasi
 ◇: kadar lignin, □: aktivitas lakase



Gambar 4. Indeks sobek dan retak lembaran pulp rami
 (□: rami tanpa perlakuan jamur, ■ : rami dengan perlakuan jamur)

bilangan Kappa pulp adalah 110,15 dan dengan perlakuan adalah 102,13. Jamur pelapuk putih *Marasmius* sp. telah mampu mendegradasi lignin sehingga dengan dosis bahan kimia yang sama maka menghasilkan kadar lignin (bilangan Kappa) yang lebih rendah. Hasil yang sejalan ditemui pada *biopulping Eucalyptus albidus* yang menunjukkan bahwa bilangan Kappa antara kontrol dan perlakuan masing-masing 21 dan 17 (Singhal *et al.*, 2013). *Biopulping* tandan kosong sawit (TKS) menggunakan *Marasmius* sp. juga mampu menurunkan bilangan Kappa dari 38,63 menjadi 31,10 (Risdianto *et al.*, 2015).

Pengujian Sifat Fisik Lembaran Pulp Rami

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik, pulp rami yang diberi perlakuan jamur *Marasmius* sp. memiliki indeks sobek lebih tinggi dibandingkan dengan pulp rami tanpa perlakuan, sedangkan nilai indeks retak tidak berbeda nyata diantara keduanya (Gambar 5). Indeks sobek pulp yang mendapat perlakuan jamur meningkat sebesar 23,67%. Indeks sobek dipengaruhi oleh jumlah serat dalam lembaran pulp, panjang serat, serta lipatan serat (Wirawan *et al.*, 2010). Proses pemasakan rami yang mendapatkan perlakuan

jamur pelapuk putih menghasilkan bilangan Kappa yang lebih rendah, yang mengindikasikan bahwa kandungan lignin pada pulp tersebut lebih sedikit. Berkurangnya kandungan lignin pada serat menyebabkan serat lebih fleksibel sehingga pulp yang mendapatkan perlakuan jamur memiliki indeks sobek yang lebih tinggi. Hasil yang sama ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan Yang *et al.*, (2008) yang memodifikasi pulp kemi-termomekanikal (CTMP) dari ekaliptus menggunakan jamur pelapuk putih *Trametes versicolor*. Pulp yang mendapatkan perlakuan jamur memiliki kekuatan ikatan internal 32% lebih tinggi. Meningkatnya kekuatan ikatan internal serat menyebabkan terjadinya peningkatan signifikan pada indeks sobek, yaitu sebesar 34%.

KESIMPULAN

Biopulping rami dengan jamur *Marasmius* sp. menunjukkan efektivitas yang tertinggi dengan derajat penyisihan lignin 40,4% dengan aktivitas lakase tertinggi pada hari ketiga sebesar 0,1638 U/mL. Proses pemasakan rami yang diperlakukan dengan jamur *Marasmius* sp. menghasilkan pulp belum putih dengan bilangan Kappa lebih rendah 7,2% dibandingkan tanpa perlakuan jamur. Hasil uji kualitas pulp rami yang telah diberi perlakuan jamur *Marasmius* sp. menghasilkan pulp belum putih yang lebih baik, dengan sifat fisik indeks retak dan indeks sobek berturut-turut 10,52 mNm²/g dan 1,24 kN/g.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh DIPA Balai Besar Pulp dan Kertas Tahun Anggaran 2014. Kami ucapkan terima kasih kepada para teknisi litkayasa BBPK yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Andrés, L., Zentner, A. and Zentner, J. (2014) 'Measuring the effect of Internet Adoption on Paper Consumption', (July), p. 34. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/19360/WPS6965.pdf?sequence=1>.

Ashori, A. (2006) 'Nonwood fibers - a potential source of raw material in papermaking', *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 45(10), pp. 1133–1136.

Van Beek, T. A., Kuster, B., Claassen, F. W., Tienvieri, T., Bertaud, F., Lenon, G., Petit-Conil, M. and 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), pp. 302–311.

Brandt, J. (2014) *Paper Demand Stacks Up*. Available at: <http://www.hsbc.com/news-and-insight/2014/paper-demand-stacks-up> (Accessed: 2 May 2015).

Childs, B. R. E. and Bardsley, W. G. (1975) 'The Steady-State Kinetics of Peroxidase with 2,2'-Azino-di-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) as Chromogen', *Biochemical journal*, 145, pp. 93–103.

Ferraz, A., Guerra, A., Mendonça, R., Masarin, F., Vicentim, M. P., Aguiar, A. and Pavan, P. C. (2008) 'Technological advances and mechanistic basis for fungal biopulping', *Enzyme and Microbial Technology*, 43(2), pp. 178–185.

Isroi, Millati, R., Syamsiah, S., Niklasson, C., Cahyanto, M. N., Lundquist, K. and Taherzadeh, M. J. (2011) 'Biological pretreatment of lignocelluloses with white-rot fungi and its applications: A review', *BioResources*, 6(4), pp. 5224–5259.

Kalita, B. B., Gogoi, N. and Kalita, S. I. (2013): 1-6. (2013) 'Properties of ramie and its blends', *International Journal of Engineering Research and General Science*, 1(2), pp. 1–6. Available at: <http://ijergs.org.managewebsiteportal.com/files/documents/Properties-Of-Ramie-1.pdf>.

Kamcharoen, A., Champreda, V., Eurwilaichitr, L. and Boonsawang, P. (2014) 'Screening and optimization of parameters affecting fungal pretreatment of oil palm empty fruit bunch (EFB) by experimental design', *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 5(4), pp. 303–312.

Khakifirooz, A., Ravanbakhsh, F., Samariha, A. and Kiaei, M. (2013) 'Investigating the possibility of chemi-mechanical pulping of bagasse', *BioResources*, 8(1), pp. 21–30.

Khalil, H. P. S. A., Alwani, M. S. and Omar, A. K. M. (2006) 'Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of Malaysian plant waste fibers', *BioResources*, 1, pp. 220–232.

Kiaei, M., Tajik, M. and Vaysi, R. (2014) 'Chemical and biometrical properties of plum wood and its application in pulp and paper production', *Maderas. Ciencia y tecnología*, 16(ahead), pp. 313–322.

- Loera Corral, O., Pérez Pérez, M. C. I., Barbosa Rodríguez, J. R. and Villaseñor Ortega, F. (2006) 'Lacasses', *Advances in Agricultural and Food Biotechnology*, 661(2), pp. 323–340.
- Masarin, F., Pavan, P. C., Vicentim, M. P., Souza-Cruz, P. B., Loguercio-Leite, C. and Ferraz, A. (2009) 'Laboratory and mill scale evaluation of biopulping of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with *Phanerochaete chrysosporium* RP-78 under non-aseptic conditions', *Holzforschung*, 63(3), pp. 259–263.
- Nazarpour, F., Abdullah, D. K., Abdullah, N. and Zamiri, R. (2013) 'Evaluation of biological pretreatment of rubberwood with white rot fungi for enzymatic hydrolysis', *Materials*, 6(5), pp. 2059–2073.
- Niladevi, K. N., Sukumaran, R. K. and Prema, P. (2007) 'Utilization of rice straw for laccase production by *Streptomyces psammoticus* in solid-state fermentation', *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 34(10), pp. 665–674.
- Pandey, A., Soccol, C. R. and Larroche, C. (2008) 'Current developments in solid-state fermentation', *Current Developments in Solid-state Fermentation*, 81, pp. 1–517.
- Rifaída, E. (Balai B. T. (2009) 'Komposit serat rami dan limbah rami sebagai bahan absorpsi suara', *Arena tekstil*, 24, pp. 51–59.
- Risdianto, H., Sofianti, E., Suhardi, S. H. and Setiadi, T. (2012) 'Optimisation of laccase production using white rot fungi and agriculture wastes in solid state fermentation', *ITB Journal of Engineering Science*, 44(1), pp. 93–105.
- Risdianto, H., Sudarmin, Suhardi, S. and Setiadi, T. (2011) 'Optimisation of biobleaching process of unbleached kraft pulp *Acacia Mangium* by using crude laccase', *Journal of Science and Technology*, 9(1A), pp. 90–99. Available at: http://ppprodtk.fti.itb.ac.id/tjandra/wp-content/uploads/2010/04/Paper_Setiadi_RC3-Bio_2011_Hanoi.pdf.
- Risdianto, H. and Sugesty, S. (2015) 'Pretreatment of *Marasmius* sp. on biopulping of oil palm empty fruit bunches', *Modern Applied Science*, 9(7), pp. 5–10.
- Risdianto, H., Suhardi, S. H., Setiadi, T. and Kokug, T. (2010) 'The influence of temperature on laccase production in solid state fermentation by using white rot fungus *Marasmius* sp .', *The 1st International Seminar on Fundamental & Application Of Chemical Engineering ISFACHE*, pp. 1–6.
- Romanzini, D., Lavoratti, A., Ornaghi, H. L., Amico, S. C. and Zattera, A. J. (2013) 'Influence of fiber content on the mechanical and dynamic mechanical properties of glass/ramie polymer composites', *Materials & Design*. Elsevier Ltd, 47, pp. 9–15.
- Scott, G. M., Akhtar, M., Myers, G. C., Sykes, M. S. and Swaney, R. E. (2001) 'An update on biopulping commercialization', in *Proceedings of the 3rd ecopapertech conference*, pp. 04–08.
- Singh, P., Sulaiman, O., Hashim, R., Peng, L. C. and Singh, R. P. (2013) 'Evaluating biopulping as an alternative application on oil palm trunk using the white-rot fungus *Trametes versicolor*', *International Biodeterioration and Biodegradation*. Elsevier Ltd, 82, pp. 96–103.
- Singh, S., Dutt, D. and Tyagi, C. H. (2011) 'Complete characterization of wheat straw (*Triticum aestivum* PBW-343 L. Emend. Fiori & PAOL.) - A renewable source of fibres for pulp and paper making', *BioResources*, 6(1), pp. 154–177.
- Singhal, A., Jaiswal, P. K., Jha, P. K., Thapliyal, A. and Thakur, I. S. (2013) 'Assessment of *Cryptococcus albidus* for biopulping of *Eucalyptus*', *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 43(8), pp. 735–749.
- Sudjindro (2011) 'Prospek Serat Alam', *Perspektif*, 10(2), pp. 92–104.
- Sugesty, S., Pratiwi, W. and Sugiharto, A. (1999) 'Peningkatan kualitas pulp batang rami (*Bohmeria nivea* G.) untuk substitusi pulp serat panjang', *Berita Selulosa*, XXXV (3) (3), pp. 42–49.
- Udohitinah, J. S. and Oluwadare, A. O. (2011) 'Pulping properties of kraft pulp of Nigerian-grown kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.)', *BioResources*, 6(1), pp. 751–761.
- Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P. and Santas, R. (2004) 'Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production', *Industrial Crops and Products*, pp. 245–254.
- Wang, B., Sain, M. and Oksman, K. (2007) 'Study of structural morphology of hemp fiber from the micro to the nanoscale', *Applied Composite Materials*, 14(2), pp. 89–103.
- Widsten, P. and Kandelbauer, A. (2008) 'Laccase applications in the forest products industry: A review', *Enzyme and Microbial Technology*, 42(4), pp. 293–307.
- Wirawan, S., Rismijana, J., Cucu and Asid, D. S. (2010) 'Pulp rami putih sebagai bahan baku kertas', *Berita Selulosa*, 45(2), pp. 57–63.

- Xavier, A. M. R. B., Tavares, A. P. M., Ferreira, R. and Amado, F. (2007) 'Trametes versicolor growth and laccase induction with by-products of pulp and paper industry', *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(3), pp. 445–451. doi: 10.2225/vol10-issue3-fulltext-1.
- Yadav, R. D., Chaudhry, S. and Dhiman, S. S. (2010) 'Biopulping and its potential to reduce effluent loads from bleaching of hardwood kraft pulp', 5(1), pp. 159–171.
- Yang, Q., Zhan, H., Wang, S., Fu, S. and Li, K. (2008) 'Modification of eucalyptus CTMP fibres with white-rot fungus *Trametes hirsute* - Effects on fibre morphology and paper physical strengths', *Bioresource Technology*, 99(17), pp. 8118–8124.
- Yang, W. D. and Li, Y. (2012) 'Sound absorption performance of natural fibers and their composites', *Science China Technological Sciences*, 55(8), pp. 2278–2283. doi: 10.1007/s11431-012-4943-1.