

PENGGUNAAN XILANASE PADA PEMUTIHAN *DISSOLVING PULP* *Acacia crassicarpa*

Susi Sugesty ^{a1}, Teddy Kardiansyah ^a, Wieke Pratiwi ^b

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

^bBalai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung

¹ sugestym@yahoo.com

Diterima : 27 Februari 2015, Revisi akhir : 23 November 2015, Disetujui terbit : 30 November 2015

THE USE OF XILANASE IN BLEACHING OF DISSOLVING PULP FROM *Acacia crassicarpa*

ABSTRACT

*The use of xylanase in pulp bleaching process is intended to reduce chemicals consumption in pulp industry that still using chlorine compounds (chlorine dioxide), so the bleaching stage needs to be modified without reducing the quality of dissolving pulp. Dissolving pulp was produced from six-year-old *Acacia crassicarpa* as raw material by the Prehydrolysis-Kraft process, then the pulp was bleached with the ECF (elemental chlorine free) process using xylanase (X) and oxygen (O) as comparison at the early stage of bleaching. The sequences of process include X/OEDEDED (xylanase or oxygen; chlorine dioxide; extraction-1; chlorine dioxide-1; extraction-2; chlorine dioxide -2). Results showed that the dissolving pulp with active alkali of 22%, sulphidity of 30%, the temperature of 165°C, and the ratio of 1:4 is the optimal condition. Cellulose content, viscosity and brightness were above 94%, 6.2 cP and 88% ISO, respectively. The dissolving pulp produced with the application of xylanase has better quality than the oxygen one, and meets the requirement according to Indonesia National Standard (SNI 0938:2010, pulp rayon).*

*Keywords: *Acacia crassicarpa*, xylanase, Prehydrolysis-Kraft, dissolving pulp, rayon pulp*

ABSTRAK

Penggunaan xilanase pada proses pemutihan pulp dimaksudkan untuk mengurangi konsumsi bahan kimia yang digunakan selama ini di industri pulp, yang masih menggunakan senyawa klorin (klorin dioksida), untuk itu perlu dilakukan modifikasi pada tahap pemutihannya tanpa mengurangi kualitas *dissolving pulp* yang dihasilkan. Pembuatan *dissolving pulp* dilakukan menggunakan bahan baku kayu *Acacia crassicarpa* berumur 6 tahun dengan proses Prahidrolisa-Kraft, selanjutnya pulp diputihkan dengan proses ECF (*Elemental Chlorine Free*) menggunakan xilanase (X) dan oksigen (O) sebagai pembanding pada awal pemutihan dengan 6 tahapan proses, yaitu X/OEDEDED (xilanase atau oksigen; klorin dioksida; ekstraksi-1; klorin dioksida-1; ekstraksi-2; klorin dioksida-2) dengan perlakuan oksigen sebagai pembanding. Hasil pembuatan *dissolving pulp* dengan alkali aktif 22%, sulfiditas 30%, suhu 165°C, rasio 1:4 adalah kondisi yang optimal. Kandungan selulosa, viskositas dan derajat cerah yang diperoleh masing-masing yaitu di atas 94%, 6,2 cP dan 88% ISO. Kualitas *dissolving pulp* hasil pemutihan dengan penambahan xilanase lebih tinggi daripada menggunakan oksigen dan memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 0938:2010, *pulp rayon*.

Kata kunci : *Acacia crassicarpa*, xilanase, Prahidrolisa-Kraft, *dissolving pulp*, *pulp rayon*

PENDAHULUAN

Dissolving pulp merupakan jenis pulp khusus dengan kadar selulosa tinggi di atas 90% (Wu dkk., 2015), kandungan hemiselulosa yang rendah (2-4%) dan lignin, ekstraktif serta mineral yang sangat sedikit (Cao dkk., 2014). Pulp tersebut digunakan sebagai bahan baku untuk

memproduksi derivat selulosa seperti selulosa asetat, selulosa nitrat, rayon viskosa, karboksimetil selulosa dan lain sebagainya (Batalha dkk., 2012). Pembuatan *dissolving pulp* umumnya dapat melalui beberapa proses pembuatan pulp tergantung bahan baku yang digunakan. Proses soda untuk *cotton linter* dan dari kayu dapat diproduksi melalui proses prahidrolisis

kraft dan proses sulfit (Barba dkk., 2002). Pembuatan *dissolving pulp* berbeda dengan proses pembuatan pulp untuk kertas, tujuan dari pembuatan *dissolving pulp* adalah untuk memperoleh kandungan selululosa yang murni dan seragam dengan mengendalikan derajat polimerisasinya. Lignin dan hemiselulosa dianggap sebagai kontaminan dan harus dihilangkan (Ma dkk., 2012). Kandungan lignin dan hemiselulosa yang tinggi dalam *dissolving pulp* akan mengganggu proses regenerasi selulosa dan menyebabkan efek negatif pada produk selulosa teregenerasinya (Christov dkk., 1998).

Proses *Kraft* secara umum tidak bisa menghilangkan hemiselulosa secara keseluruhan. Proses prahidrolisa merupakan metode untuk meningkatkan kualitas *dissolving pulp* melalui peningkatan laju delignifikasi, rendemen dan viskositas serta menurunkan kandungan hemiselulosa (Ma dkk., 2012). Tujuan dari tahap prahidrolisa adalah untuk melemahkan ikatan hemiselulosa sehingga hemiselulosa pada proses pemasakan selanjutnya dapat terdegradasi dan mudah dilarutkan. Hemiselulosa pada *dissolving pulp* tidak diinginkan karena akan larut dalam larutan *steeping* serta menghambat proses pembuatan viskosa rayon (Gehmayr dan Sixta, 2011). Proses selanjutnya dalam pembuatan *dissolving pulp* setelah pemasakan pulp adalah proses pemutihan pulp. Proses pemutihan pulp melibatkan bahan kimia pemutih seperti klorin, klorin dioksida dan alkali untuk melarutkan dan menghilangkan lignin dalam pulp (Patel dkk., 1993). Proses pemutihan itu akan menghasilkan senyawa organoklorin yang bersifat toksik, mutagenik, persisten dan bioakumulasi terhadap lingkungan (Cheng dkk., 2013). Proses pemutihan yang masih melibatkan klorin dapat menimbulkan dampak yang negatif terhadap lingkungan, yaitu timbulnya organoklorin (AOX) yang dapat membahayakan kesehatan manusia (Ashori dkk., 2005)

Guna mengurangi konsumsi bahan kimia yang digunakan selama ini di Industri Pulp, yang masih menggunakan senyawa klorin dalam proses pemutihan pulp, perlu dilakukan modifikasi pada tahap pemutihan tanpa berpengaruh negatif terhadap kualitas *dissolving pulp* yang dihasilkan (Medeiros dkk., 2007). Salah satu teknik pemutihan yang lebih ramah lingkungan adalah dengan menggunakan teknik *biobleaching* (Cheng dkk., 2013). Proses *biobleaching* umumnya menggunakan enzim,

yaitu xilanase yang dapat memodifikasi struktur xilan dan glukomanan dalam serat pulp, sehingga meningkatkan efisiensi delignifikasi bahan kimia pemutih (Guimarães dkk., 2013). Penggunaan xilanase merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh penggunaan klorin dalam proses pemutihan pulp *Kraft* (Tolan dan Collins, 2004). Penggunaan xilanase umumnya dilakukan sebelum proses pemutihan dengan bahan kimia pemutih (Martin-Sampedro dkk., 2012). Xilanase akan menurunkan konsumsi bahan kimia pemutih, sehingga dapat mengurangi keluarnya senyawa organoklorin ke dalam lingkungan (Cheng dkk., 2013). Penelitian Khonzue dkk. (2011) menyebutkan bahwa xilanase dapat mereduksi konsumsi bahan kimia pemutih sebesar 20% untuk mendapatkan nilai derajat cerah yang sama dibandingkan dengan kontrol tanpa xilanase.

Bahan baku utama pulp di Indonesia adalah *Acacia mangium* (Silsia dkk., 2010). Selain *Acacia mangium*, salah satu spesies *Acacia* yang berpotensi untuk dikembangkan adalah *Acacia crassicarpa*. *Acacia crassicarpa* termasuk ke dalam *fast growing species* dan mampu hidup pada lahan marginal. *Acacia crassicarpa* yang ditanam pada lahan gambut memiliki potensi sampai 110,2 m³/ha pada umur 4 tahun (Suhartati dkk., 2014). Penelitian ini membahas mengenai proses *biobleaching* menggunakan xilanase untuk pembuatan *dissolving pulp* dari kayu *Acacia crassicarpa*. *Dissolving pulp* dari kayu *Acacia crassicarpa* diharapkan dapat memenuhi kualitas standar yang berlaku (SNI), sehingga berpotensi untuk dikembangkan di Hutan Tanaman Industri sebagai bahan baku pulp.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kayu *Acacia crassicarpa* 6 tahun. Kayu ini berasal dari kawasan Hutan Tanaman Industri (HTI) yang sedang dikembangkan di daerah perbatasan Sumatera Selatan dan Jambi. Xilanase diperoleh dari laboratorium Bioindustri, Badan Penerapan dan Pengkajian Teknolog (BPPT).

Metode

Pelaksanaan penelitian ini meliputi pemasakan bahan baku, pemutihan pulp proses

ECF dengan menggunakan enzim (xilanase) dan oksigen, penentuan sifat optik serta karakterisasi *dissolving pulp*. Kayu *Acacia crassicarpa* kemudian diserpih dan disaring agar diperoleh ukuran yang seragam. Kadar air bahan baku ditentukan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI). Untuk keperluan analisis, kimia bahan baku diserbuk dengan ukuran 40 – 60 mesh.

Pembuatan *dissolving pulp* dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap prahidrolisa dan tahap pemasakan. Tahap prahidrolisa menggunakan asam sulfat 0,2% dan 0,4%, kemudian dilanjutkan dengan proses *Kraft* (sulfat) dalam digester putar (*rotary digester*) dalam udara panas dengan suhu yang dapat dikontrol. Pulp yang diperoleh ditentukan rendemen total dan rendemen tersaring serta bilangan Kappa. Kondisi pembuatan *dissolving pulp* tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Pembuatan *Dissolving Pulp* dengan Proses Kraft (Sulfat)

| No | Parameter | Perlakuan |
|----|-------------------------------------|------------|
| 1 | Pra-hidrolisa dengan asam sulfat, % | 0,2; 0,4 |
| 2 | Suhu, °C | 165 |
| 3 | Rasio larutan pemasak terhadap kayu | 4:1 |
| 4 | Sulfiditas, % | 30 |
| 5 | Alkali aktif, % | 20 dan 22 |
| 6 | Faktor H | 1100; 1300 |
| 7 | Waktu, jam | 2 + 1,5 |

Pemutihan pulp dilakukan tanpa menggunakan klorin (Cl₂), tetapi menggunakan senyawaan klorin dioksida (ClO₂) yang dikenal dengan proses *Elemental Chlorine Free* (ECF), dengan 6 tahapan proses, yaitu X/OEDEDED (xilanase atau oksigen; klorin dioksida; ekstraksi-1; klorin dioksida-1; ekstraksi-2; klorin dioksida-2). Pada tahap awal proses pemutihan pulp ditambahkan tahap xilanase dan oksigen sebagai pembanding. Kondisi proses pemutihan pulp dapat dilihat pada Tabel 2.

Dissolving pulp yang diperoleh ditentukan rendemen pulp putihnya. *Dissolving pulp* diuji karakteristiknya sesuai dengan spesifikasi SNI pulprayon, parameter yang diuji adalah kandungan selulosa alfa, kelarutan dalam alkali (NaOH 10% dan 18%), ekstraktif (diklorometana), abu, abu tak larut asam, viskositas, dan derajat cerah. Derajat cerah (*brightness*) merupakan perbandingan intensitas cahaya biru pada panjang gelombang 457 nm yang dipantulkan oleh permukaan kertas dengan intensitas cahaya sejenis yang dipantulkan oleh permukaan lapisan magnesium oksida pada kondisi standar (sudut 45° dan sudut pantul 0°) (SNI ISO 2470:2010). Derajat cerah diuji sesuai dengan SNI ISO 2470, *Kertas, karton dan pulp—Cara uji faktor pantul biru cahaya baur (derajat cerah ISO)*.

Kandungan selulosa alfa diuji berdasarkan SNI 0444:2009, *Pulp—Cara uji kadar selulosa alfa, beta dan gamma*. Kelarutan dalam alkali diuji berdasarkan SNI ISO 692:2010, *Pulp—Cara uji kelarutan dalam alkali*. Ekstraktif diuji berdasarkan SNI 14-7197-2006, *Cara uji kadar ekstraktif kayu dan pulp dalam diklorometana*. Kandungan Abu diuji berdasarkan SNI ISO

Tabel 2. Kondisi Proses Pemutihan Pulp

| Parameter | X | O | D ₀ | E | D ₁ | E | D ₂ |
|-----------------------|-----|-----|----------------|------|----------------|------|----------------|
| ClO ₂ , % | - | - | 0,22 KN | - | 1 | - | 0,5 |
| O ₂ , psig | - | 87 | - | - | - | - | - |
| NaOH, % | - | 1,5 | - | 1,5 | - | 1,5 | - |
| Konsistensi, % | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Suhu, °C | 50 | 95 | 70 | 70 | 75 | 70 | 75 |
| Waktu Reaksi, menit | 60 | 60 | 60 | 60 | 180 | 60 | 180 |
| pH akhir | - | 12 | 2,5-3,5 | 12,5 | 4,0 | 12,5 | 3,5 |
| Dosis, kg/ton | 0,5 | - | - | - | - | - | - |

2144:2010, *Pulp, kertas dan karton – Cara uji kadar abu*. Viskositas pulp diuji berdasarkan SNI 0936:2008, *Pulp–Cara uji viskositas-Kuprietilendiamin (Viskometer kapiler)* dan SCAN-CM 15, *Viscosity in cupri-ethylenediamine solution*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemasakan Kayu *Acacia crassicaarpa* dan Pemutihan Pulpnya

Rendemen tersaring rata – rata hasil penelitian ini sesuai dengan rendemen pemasakan proses kimia pada umumnya untuk *dissolving pulp* yaitu berkisar antara 30 - 35% (Batalha dkk., 2012). Bilangan kappa merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas pulp dan proses pemasakan yang digunakan. Bilangan Kappa dapat diartikan kandungan lignin sisa dalam pulp dan dapat digunakan untuk mengetahui kondisi pemutihan yang sesuai.

Pada Tabel 3 dapat dilihat hasil proses pemasakan kayu *Acacia crassicaarpa*. Rendemen tersaring pulp dari kayu *Acacia crassicaarpa* berumur 6 tahun sekitar 36,89% untuk prahidrolisa menggunakan asam sulfat 0,2%, sedangkan penggunaan asam sulfat 0,4% berkisar anantara 35,80 – 36,00%. Ini menunjukkan bahwa telah terjadi pemutusan ikatan/

rantai hemiselulosa dan ekstraktif lebih banyak pada penambahan asam 0,4%. Bilangan Kappa pulp dari kayu *Acacia crassicaarpa* berada pada kisaran 13,52 – 18,90%. Pada umumnya bilangan kappa untuk *dissolving pulp* sebesar 13 ± 1 , agar pulp dapat diputihkan dengan baik dan konsumsi bahan kimia pemutih serendah mungkin, tetapi menghasilkan derajat cerah (*brightness*) dan kadar selulosa pulp yang tinggi serta dapat memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI). Terlihat pada Tabel 3 pulp dengan target bilangan kappa sebesar 13 ± 1 , diperoleh dari prahidrolisa asam 0,4% dan pemasakan dengan kondisi alkali aktif 22% dan faktor H 1300.

Pemutihan pulp dilakukan dengan proses ECF menggunakan klorin dioksida (D) yang diawali dengan penambahan Xilanase (X) dan Oksigen (O) sebagai pembanding dengan tahapan XDEDED dan ODEDED. Pada umumnya industri *dissolving pulp*, proses pemutihan pulp diawali dengan penambahan oksigen dilanjutkan dengan klorin dioksida. Klorin dioksida bereaksi dengan struktur *phenolic* lignin yang dapat membentuk radikal yang stabil melalui pemisahan satu elektron sedangkan reaksi dengan *non-phenolic* lignin dan asam *hexenuronic* berjalan lamban (Eshkiki dkk., 2006).

Data hasil pemutihan pulp kayu *Acacia crassicaarpa* dapat dilihat pada Tabel 4. Pada

Tabel 3. Hasil Pemasakan Kayu *Acacia crassicaarpa* setelah Prahidrolisa

| No. | Kayu | Alkali Aktif (%) | Faktor H | Rendemen Total (%) | Rendemen Tersaring (%) | Bilangan Kappa |
|-----|-----------|------------------|----------|--------------------|------------------------|----------------|
| 1 | Asam 0,2% | 20 | 1100 | 37,22 | 36,89 | 18,90 |
| 2 | Asam 0,4% | 20 | 1300 | 36,33 | 36,00 | 16,22 |
| 3 | Asam 0,4% | 22 | 1300 | 35,85 | 35,80 | 13,52 |

Tabel 4. Hasil Pemutihan Pulp Kayu *Acacia crassicaarpa* Tahap X(XDEDED) dan O(ODEDED)

| No | Pulp Putih | Rendemen Pemutihan (%) | | Rendemen Terhadap Kayu (%) | | Noda (mm ² /m ²) | |
|---|------------------------------|------------------------|-------|----------------------------|-------|---|------|
| | | X | O | X | O | X | O |
| 1 | Asam 0,4%; AA 20% | 97,01 | 96,88 | 34,92 | 34,88 | 5,98 | 6,01 |
| 2 | Asam 0,4%; AA 22% | 97,83 | 97,00 | 35,02 | 34,73 | 5,80 | 5,94 |
| 3 | <i>A. mangium</i> 4-7 tahun* | 98,26 | | 31,13 | | | - |
| Spesifikasi Pulp Rayon (<i>dissolving pulp</i>) | | - | | - | | maks. 6 | |

* (Sugesty dan Setiawan, 2012)

Tabel 5. Karakteristik *Dissolving Pulp Acacia crassicarpa* Tahap XDEDED dan ODEDED

| No | Parameter | Unit | <i>Acacia crassicarpa</i> | | | <i>A. mangium</i> 4-7 tahun* | Spesifikasi Pulp Rayon SNI 0938:2010 |
|----|---|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|
| | | | Xilanase (X) Asam 0,4%; AA 20% | Xilanase (X) Asam 0,4%; AA 22% | Oksigen (O) Asam 0,4%; AA 22% | | |
| 1 | Selulosa Alfa | % | 91,85 | 94,13 | 92,57 | 91,06 | min. 94 |
| 2 | Kelarutan dalam larutan NaOH 18 % (S ₁₈) | % | 1,38 | 1,29 | 1,67 | 1,60 | maks. 4,9 |
| 3 | Kelarutan dalam larutan NaOH 10 % (S ₁₀) | % | 4,76 | 3,48 | 4,23 | 4,67 | maks. 7,9 |
| 4 | Ekstraktif (<i>dichloromethane</i>) | % | ttd | ttd | 0,24 | - | maks. 0,2 |
| 5 | Abu | % | - | 0,11 | 0,12 | 0,11 | maks. 0,15 |
| 6 | Viskositas (<i>cupri- ethylenediamine</i>) | cP | 7,49 | 9,19 | 7,18 | 5,82 | min. 6,2 |
| 7 | Pentosan sebagai hemiselulosa | % | 1,47 | 0,65 | 0,85 | 2,05 | - |
| 8 | Derajat cerah | % ISO | 88,80 | 89,70 | 89,09 | 86,32 | min. 88 |

ttd = tidak terdeteksi; * (Sugesty dan Setiawan, 2012).

Tabel 4 dapat dilihat hasil pemutihan *dissolving pulp*. Pemutihan pulp dilakukan terhadap pulp dengan tahap prahidrolisa 0,4% dan alkali aktif 20% dan 22%. Kualitas *dissolving pulp* kayu *Acacia crassicarpa* dengan tahap prahidrolisa 0,4% dan alkali aktif 22% dapat memenuhi spesifikasi Standar Nasional Indonesia, SNI 0938:2010 untuk pemutihan dengan xilanase dan oksigen. *Dissolving pulp* dengan xilanase mempunyai derajat cerah sekitar 89,70% ISO lebih tinggi dibandingkan dengan oksigen, pada bilangan Kappa yang sama, tetapi lebih tinggi bila dibandingkan dengan *Acacia mangium* 4-7 tahun. Ini menunjukkan bahwa untuk pulp *Acacia crassicarpa* tahap xilanase dapat mencerahkan pulp lebih baik.

Noda yang terkandung dalam pulp berkisar antara 5,80 – 6,01 mm²/m². Noda pada pulp *Acacia crassicarpa* dengan tahap pemutihan xilanase lebih rendah dari persyaratan SNI yaitu 6 mm²/m². Noda merupakan partikel-partikel pengotor yang menempel pada pulp putih dan dapat berasal dari air proses dan bahan baku seperti kulit.

Kadar ekstraktif DCM yang dihasilkan pada *dissolving pulp* kayu *Acacia crassicarpa*

dengan tahapan xilanase tidak terdeteksi (ttd), sedangkan tahapan O nilainya tidak memenuhi persyaratan SNI-Spesifikasi Pulp rayon yang mempersyaratkan dibawah 0,2%. Di pabrik pulp, noda pada pulp dapat diturunkan lagi dengan cara mengoperasikan *centrifugal cleaner low density* dan *high density* atau menambahkan aditif seperti surfaktan atau dispersan. *Dissolving pulp Acacia crassicarpa* mengandung ekstraktif dan noda yang rendah sehingga tidak perlu menambahkan bahan aditif (surfaktan atau dispersan) yang umumnya digunakan pada pembuatan pulp *Acacia mangium*. Pada Tabel 5 dapat dilihat hasil karakteristik *dissolving pulp Acacia crassicarpa* yang dipilih berdasarkan proses prahidrolisa dengan asam 0,4%. Kadar alfa selulosa, viskositas dan derajat cerah *dissolving pulp Acacia crassicarpa* lebih tinggi bila dibandingkan dengan *Acacia mangium*.

Hasil *dissolving pulp* terpilih yaitu hasil dari prahidrolisa asam 0,4% sebelum pemasakan proses *Kraft* dengan alkali aktif 20% dan 22% serta pemutihan pulp proses ECF dengan perlakuan awal xilanase dan oksigen, dianalisis sesuai standar National Indonesia (SNI). Pada Tabel 5 terlihat hasil analisis *dissolving pulp*

Acacia crassicaarpa yang dapat memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 0938:2010, yaitu *dissolving pulp Acacia crassicaarpa* prahidrolisa asam 0,4% sebelum pemasakan proses Kraft dengan alkali aktif 22% dan pemutihan pulp proses ECF dengan perlakuan awal xilanase

KESIMPULAN

Pemutihan pulp kayu *Acacia crassicaarpa* 6 tahun proses ECF dengan tahapan X/ODEDED menghasilkan *dissolving pulp* dengan derajat cerah yang tinggi. Pemutihan dengan xilanase (X) pada tahap awal memberikan kualitas *dissolving pulp* lebih tinggi daripada menggunakan O (oksigen). Kadar selulosa alfa *dissolving pulp Acacia crassicaarpa* dengan prahidrolisa asam 0,4% sebesar 94,13%, lebih tinggi daripada persyaratan SNI Pulp rayon. Pulp *Acacia crassicaarpa* mengandung ekstraktif dan noda yang rendah, sehingga tidak perlu menambahkan bahan aditif (surfaktan atau dispersan). Kualitas *dissolving pulp* dari kayu *Acacia crassicaarpa* dengan kondisi tahap prahidrolisa asam 0,4%, alkali aktif 22%, sulfiditas 30%, suhu 165°C, rasio 1:4, faktor H 1300 serta pemutihan pulp proses ECF dengan tahap awal menggunakan xilanase dapat memenuhi spesifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Besar Pulp dan Kertas serta rekan-rekan kerja di Laboratorium atas terselenggaranya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ashori, A., Raverty, W.D., Jalaluddin, H. 2005. Effect of TCF and ECF Sequences on Whole Stem Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) Pulp Characteristics. *Journal of Tropical Forest Science*. 17 (3), 462-473.

Barba, C., Montane, D., Rinaudo, M., Farriol, X., 2002. Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose (CMC) from Nonwood Fibers I: Accessibility of Cellulose Fiber and CMC Synthesis. *Cellulose*. 9(3-4), 319-326.

Batalha, L.A.R., Colodette, J.L., Gomide, J.L., Barbosa, L.C.A., Maltha, C.R.A., Gomes, F.J.B. 2012. Dissolving Pulp Production From Bamboo. *Bioresources*. 7(1), 640-651.

Cao, S., Ma, X., Lin, L., Huang, F., Huang, L., Chen, L. 2014. Morphological and Chemical Characterization of Green Bamboo (*Dendrocalamopsis oldhami* (Munro) Keng f.) for Dissolving Pulp Production. *Bioresources*. 9(3), 4528-4539.

Cheng, X., Chen, G., Huang, S., Liang, Z. 2013. Biobleaching Effects of Crude Xylanase from *Streptomyces griseorubens* LH-3 on Eucalyptus Kraft Pulp. *Bioresources*. 8(4), 6424-6433.

Christov, L.P., Akhtar, M., Prior, B.A. 1998. The Potential of Bisulfite Pulping in Dissolving Pulp Production. *Enzyme and Microbial Technology*. 23, 70-74.

Eshkiki, R., Mortha, G., Lachenal, D., A. 2006. New Fast and Quantitative Method for The Titration of Free Phenolic Hydroxyl Groups in Cellulosic Pulps. *9th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp*, Vienna, Austria.

Gehmayr, V., Sixta, H., 2011. Dissolving Pulps From Enzyme Treated Kraft Pulps for Viscose Application. *Lenzinger Berichte*. 89, 152-160.

Guimarães, N. C. A., Sorgatto, M., Peixoto-Nogueira, S. C., Betini, J. H. A., Zanoelo F. F., Marques, M. R., Polizeli, M.L.T.M. dan Giannesì, G.C., 2013. Xylanase Production from *Aspergillus japonicus* var. *aculeatus*: Production using Agroindustrial Residues and Biobleaching Effect on Pulp. *J. Biocatal. Biotransformation*. Vol. 2 (1), 1-6.

Khonzue, P., Laothanachareon, T., Rattanaphan, N., Tinnasulanon, P., Apawasin, S., Paemane, A., Ruanglek, V., Tanapongpipat, S., Champreda, V. dan Eurwilaichitr, L. 2011. Optimization of Xylanase Production from *Aspergillus niger* for Biobleaching of Eucalyptus Pulp. *Biosci. Biotechnol. Biochem*. 75(6), 1129-1134.

Ma, X., Huang, L., Cao, X., Chen, Y., Luo, X. Dan Chen, L. 2012. Preparation of Dissolving Pulp from Bamboo for Textile Applications. Part 2: Optimization of Pulping Conditions of Hydrolyzed Bamboo and Kinetics. *Bioresources*. 7(2), 1866-1875.

Martin-Sampedro, R., Rodriguez, A., Ferrer, A., Garcia-Fuentevilla, L.L. dan Eugenio, M.E. 2012. Biobleaching of Pulp From Oil Palm Empty Fruit Bunches with Laccase and Xylanase. *Bioresource Technology*. 110, 371-378.

Medeiros, R. G., Silva, Jr. F. G., Bão, S. N., Hanada, R., Filho, E. X. F. 2007. Application of Xylanases from Amazon Forest Fungal Species in Bleaching of Eucalyptus Kraft Pulps. *Braz. Arch. Biol. Technol*. 50: 231-238.

- Patel, R., Grabski, A., Jeffries, T. 1993. Chromophore Release from Kraft Pulp by Purified *Streptomyces roseiscleroticus* Xylanases. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 39(3), 405-412.
- Silsia, D., Yahya, R., Mucharomah. 2010. Optimasi Biokraft Jamur *Phanerochaete chrysosporium* Terhadap Komponen Kimia Campuran Batang dan Limbah Cabang Mangium Sebagai Bahan Baku Pulp. *Molekul*. 5(2), 56-65.
- Suhartati, Rahmayanto, Y., Daeng, Y., 2014. Dampak Penurunan Daur Tanaman HTI Acacia Terhadap Kelestarian Produksi, Ekologis dan Sosial. *Info Teknis Eboni*, 11 (2), 103-116.
- Sugesty, S., Setiawan, Y. 2012. Making of Dissolving Pulp by Bio-bleaching Process from *Acacia mangium* Wood. *Proceeding The International Conference on the Innovation in Polymer Science and Technology 2011*. 88-93.
- Tolan, J. S., Collins, J. 2004. Use of Xylanase in the Production of Bleached, Unrefined Pulp at Marathon Pulp Inc. *Pulp and Paper Canada*, 105:7, 44-46.
- Wu, C., Zhou, S., Li, R., Wang, D., Zhao, C. 2015. Reactivity Improvement of Bamboo Dissolving Pulp by Xylanase Modification. *Bioresources*. 10(3), 4970-4977.

