

# PENGARUH PENAMBAHAN XILANASE PADA PROSES PEMUTIHAN SISTEM *ELEMENTAL CHLORINE FREE* (ECF)

Krisna Septiningrum<sup>1</sup>, Susi Sugesty  
Balai Besar Pulp dan Kertas  
Jl. Raya Dayeuhkolot 132 Bandung 40258  
<sup>1</sup> krisnabio@yahoo.co.id

Diterima : 04 Maret 2013, Revisi akhir : 16 Mei 2013, Disetujui terbit : 30 Mei 2013

## ***THE EFFECT OF XYLANASE ADDITION ON ECF BLEACHING PROCESS***

### **ABSTRACT**

*This research aims to investigate the effect of xylanase pretreatment on elemental chlorine free (ECF) bleaching process, the quality of bleached pulp and wastewater characteristics. At first, xylanase was produced from Bacillus circulans using solid-phase fermentation and then used for pre-bleaching of Acacia mangium and commercial pulp (Kappa Number of 12-16) and then bleached with D<sub>0</sub>ED<sub>1</sub>D<sub>2</sub> bleaching sequences. The bleached pulp obtained was tested for physical and optical properties; COD and AOX content of wastewater generated were tested as well. The results showed that the xylanase pretreatment increase the brightness, physical strength (tensile and bursting index) of Acacia mangium and commercial pulp at xylanase dose of 0.5 kg/ton. The xylanase decrease the extractive content of Acacia mangium pulp but increase it at a commercial pulp. In contrary, the dirt content of Acacia mangium pulp was increase while it was decrease at a commercial pulp. These were obtained at a dose of xylanase of 0.5 kg/ton. The addition of xylanase on prebleaching process could increase the COD value but decrease significantly the AOX content in effluent.*

*Keywords: xylanase, Bacillus circulans, pre-bleaching, Acacia mangium, ECF*

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan awal xilanase pada pemutihan pulp sistem *elemental chlorine free* (ECF), kualitas pulp putih dan pengaruhnya terhadap karakteristik air limbah yang dihasilkan. Mula-mula, xilanase diproduksi dari *Bacillus circulans* menggunakan fermentasi fase padat kemudian digunakan pada perlakuan awal pemutihan (*pre-bleaching*) pulp *Acacia mangium* dan pulp komersial (Bilangan Kappa 12-16). Pulp lalu diputihkan dengan urutan D<sub>0</sub>ED<sub>1</sub>D<sub>2</sub>. Pulp putih yang diperoleh diuji sifat fisik dan optiknya, sedangkan air limbah yang diperoleh diuji kandungan COD dan AOX. Hasil penelitian menunjukkan aplikasi xilanase dapat meningkatkan derajat putih, kekuatan fisik (indeks tarik dan retak) pulp *Acacia mangium* dan komersial pada dosis xilanase sebesar 0,5 kg/ton. Xilanase dapat menurunkan kandungan ekstraktif pada pulp *Acacia mangium* namun meningkatkan kandungan ekstraktif pada pulp komersial. Hal sebaliknya terjadi pada jumlah noda pada lembaran. Jumlah noda meningkat pada pulp *Acacia mangium* namun menurun pada pulp komersial pada dosis xilanase 0,5 kg/ton. Penambahan xilanase pada proses *pre-bleaching* meningkatkan kandungan COD pada air limbah proses pemutihan yang dihasilkan namun dapat menurunkan kandungan AOX

Kata kunci: xilanase, *Bacillus circulans*, pra-pemutihan, *Acacia mangium*, ECF

### **PENDAHULUAN**

Indonesia memiliki bahan baku pulp melimpah karena mempunyai hutan terluas kedua di dunia di samping bahan serat non-kayu dan limbah

hasil pertanian/ perkebunan. Tetapi keuntungan komparatif ini belum merupakan syarat yang cukup untuk bisa bersaing di masa mendatang. Untuk mampu berkompetisi dengan industri sejenis dari negara lain di masa mendatang,

maka keunggulan komparatif harus ditingkatkan menjadi keunggulan kompetitif yaitu Industri Pulp dan Kertas sebagai industri hijau. Industri hijau adalah industri berwawasan lingkungan yang menyelaraskan pertumbuhan dengan kelestarian lingkungan hidup, mengutamakan efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya alam serta bermanfaat bagi masyarakat (Peraturan Menteri No. 05/M-IND/PER/1/2011 tentang Program Penganugerahan Perhargaan Industri Hijau).

Indonesia berada di posisi kesembilan produsen pulp dunia dengan produksi sekitar 6,5 juta ton per tahun dan berpotensi untuk memasuki posisi lima besar di dunia (<http://www.investor.co.id/agribusiness/pengembangan-hti-dukung-ri-jadi-Produsen-pulp-terbesar-dunia/5732> 16 Februari 2011). Namun, industri pulp masih berhadapan dengan masalah isu lingkungan terutama industri penghasil pulp putih. Saat ini, proses pemutihan pulp yang digunakan di Indonesia terdiri dari proses pemutihan konvensional, substitusi khlor dan *Elemental Chlorine Free* (ECF). Teknologi tersebut menggunakan bahan kimia berbahaya dasar klorin karena sifatnya yang reaktif, efektif dan menghasilkan pulp dengan sifat fisik dan derajat putih tinggi, dengan harga yang relatif murah, namun di satu sisi teknologi tersebut tidak ramah lingkungan. Pulp putih dan air limbah yang dihasilkan dari proses pemutihan tersebut mengandung senyawa organik terklorinasi seperti *tetrachlorinated dibenzofuran* (TCDF) dan *tetrachlorinated dibenzodioxin* (TCDD). Senyawa ini bersifat toksik, terakumulasi dan persisten dalam lingkungan serta karsinogenik (Dence dan Reeve, 1996). Parameter yang menunjukkan jumlah senyawa organik terklorinasi pada air limbah adalah AOX (*Adsorbable Organic Halides*). Hal ini menjadi isu lingkungan yang cukup serius untuk industri pulp dan kertas seiring dengan meningkatnya permintaan pulp putih yang ramah lingkungan.

Salah satu upaya untuk menurunkan kandungan AOX adalah melakukan sistem pemutihan yang ramah lingkungan seperti pemutihan dengan sistem ECF/TCF atau dengan menggunakan enzim pada proses *pre-bleaching* pulp. Xilanase (*1,4-β-D-xylan xylanohydrolase*, EC 3.2.1.8) merupakan salah satu katalis hayati yang dapat digunakan pada proses tersebut. Teknologi ini memiliki beberapa keuntungan dari sisi teknis seperti dapat meningkatkan derajat putih dan menurunkan bilangan Kappa

(Viikari dkk., 1994) sehingga konsumsi bahan kimia klordioksida (ClO<sub>2</sub>) pada proses pemutihan dapat berkurang. Beg dkk. (2001) menyatakan penggunaan xilanase merupakan metode alternatif dengan biaya rendah sehingga dapat mereduksi penggunaan bahan kimia berbahaya dasar klorin dan bahan-bahan kimia pemutihan lainnya yang bersifat toksik sejumlah 20-40%. Dengan menurunnya senyawa klorin yang digunakan pada proses pemutihan maka secara teoritis diharapkan kandungan bahan berbahaya seperti senyawa organik terklorinasi (AOX) dan dioksin pada air limbah industri pulp dan kertas dapat direduksi (Dence dan Reeve, 1996). Oji *Paper*-Jepang telah menggunakan xilanase yang tahan alkali dan suhu tinggi dalam proses pemutihan, hasilnya xilanase dapat menurunkan jumlah klorin dan klorin dioksida yang digunakan sejumlah 35% dan 65%. Akibatnya telah terjadi reduksi AOX sejumlah 40% dalam air limbahnya (OECD, 2001).

Adanya penurunan bahan kimia berbahaya yang digunakan pada proses pemutihan ini sesuai dengan konsep industri hijau yang telah disepakati oleh para pemimpin Asia di Manila pada tahun 2009. Konferensi tersebut diantaranya mendeklarasikan kriteria dan langkah-langkah untuk mengurangi intensitas eksplorasi sumber daya dan emisi karbon yaitu dengan melakukan proses produksi yang hemat energi, bahan, dan air (*efficiency in energy, material and water use in production processes*). Konsep industri hijau ini merupakan salah satu tantangan untuk negara-negara Asia Pasifik, namun di satu sisi akan meningkatkan kemampuan mereka untuk berkompetisi dengan negara penghasil pulp lainnya dalam era ekonomi dunia rendah karbon.

Aplikasi penggunaan xilanase pada industri pulp dan kertas sampai saat ini masih sangat jarang karena adanya beberapa kendala yang dihadapi, diantaranya adalah belum tersedianya xilanase komersial yang sesuai dengan kondisi proses *pre-bleaching* pulp (tahan suhu tinggi dan pH alkali); proses produksi xilanase saat ini menggunakan xilan murni sebagai induser sehingga biaya produksi mahal; enzim bersifat eksotik (bukan anorganik); penyimpanan enzim yang terlalu lama tanpa menggunakan metode penyimpanan yang baik dapat menurunkan aktivitas enzim sehingga dosis pemakaian terus meningkat; dan kurangnya transfer teknologi mengenai penggunaan enzim di industri. Karakteristik xilanase komersial yang ada saat ini memiliki suhu optimum kurang dari

50 °C dengan pH asam atau netral (Dhillon dkk., 2000) sehingga kurang sesuai dengan kondisi proses pra-pemutihan pulp.

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa xilanase dari *Bacillus circulans* dapat diproduksi dengan menggunakan fermentasi fase padat. Xilanase yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan proses *pre-bleaching*, yaitu memiliki aktivitas selulase yang rendah (sebesar 0,07 U/mL) dengan pH optimum 8,5 dan suhu optimum 50°C. Penggunaan xilanase dengan karakteristik tersebut memiliki beberapa keuntungan seperti tidak memerlukan proses netralisasi dan pendinginan pulp dari proses pemasakan ke proses pemutihan (Beg dkk., 2001). Untuk mengetahui pengaruh penambahan xilanase pada proses *pre-bleaching* maka perlu dilakukan penelitian mengenai aplikasi xilanase pada proses pemutihan pulp sistem ECF. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sistem ECF pada proses pemutihan karena sistem ini telah digunakan pada industri pulp di Indonesia sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan pada skala industri.

## **BAHAN DAN METODE**

### **Bahan dan Alat**

#### **Bahan untuk Produksi Xilanase**

Mikroorganisme yang digunakan adalah genus *Bacillus* yang diperoleh dari ITB. Medium yang digunakan untuk aktivasi pertumbuhan bakteri adalah medium xilan. Medium ini terdiri dari pepton 0,5%, ekstrak ragi 0,5%,  $K_2HPO_4$  0,1%,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0,02%, *xilan birch wood* 0,5%, pH medium diatur 10,5 dengan  $Na_2CO_3$  1% (Nakamura dkk., 1993) dengan modifikasi).

Substrat padat yang digunakan untuk produksi adalah tongkol jagung yang sudah dijadikan serbuk dengan ukuran 40-60 mesh. *Moistening agents* (MS) yang digunakan adalah *salt solution* yang terdiri dari  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $K_2HPO_4$ , dan  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ . Bahan-bahan lain yang digunakan untuk penelitian meliputi pereaksi dalam uji aktivitas xilanase dan pereaksi dalam karakterisasi xilanase.

#### **Bahan untuk Pemutihan Pulp**

Pulp yang digunakan dalam proses pemutihan menggunakan ekstrak kasar xilanase adalah pulp

kimia *Acacia mangium* yang berasal dari hasil penelitian di Balai Besar Pulp dan Kertas (pulp BBPK) dan pulp komersial yang diperoleh dari salah satu pabrik pulp di daerah Sumatera, dengan kisaran bilangan Kappa antara 12-16. Bahan kimia yang digunakan dalam proses pemutihan adalah ekstrak kasar xilanase,  $NaClO_2$  dan  $Cl_2$  (untuk membuat  $ClO_2$ ), NaOH dan *demin water*.

### **Alat**

Peralatan utama yang digunakan dalam produksi xilanase adalah peralatan gelas, *laminar air flow*, *rotary shaker*, *inkubator*, *refrigerated centrifuge*, sentrifuse klinis, pengaduk magnetik, *vortex mixer*, *spektrofotometer*, *waterbath*. Sedangkan peralatan utama yang digunakan dalam proses pemutihan dan penentuan sifat fisik pulp adalah pengurai serat, pengepres pulp, oven, timbangan analitik, pH meter, *beater*, peralatan pembuatan lembaran pulp, °SR *Frenee's* Tester, alat uji sifat fisik (alat uji ketahanan tarik, ketahanan sobek, ketahanan retak dan derajat putih). Peralatan yang digunakan untuk uji parameter lingkungan adalah alat uji AOX (TOX 100) dan peralatan uji COD.

### **Metode**

#### **Produksi dan Isolasi Xilanase**

#### **Produksi Enzim dengan Fermentasi Fase Padat**

Mula-mula 10 g serbuk tongkol jagung dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer kemudian ditambahkan MS agents yang sudah dilarutkan dalam  $Na_2CO_3$  0,1 M dengan rasio 1:2,5 (w/v), pH 10,5. Substrat tersebut kemudian diinokulasi dengan suspensi mikroorganisme sejumlah 10% (v/w) kemudian diinkubasi selama 4 hari pada suhu 37°C. Enzim kemudian diekstrak dan diuji aktivitasnya.

#### **Ekstraksi Enzim**

Enzim yang diperoleh dari proses fermentasi diekstrak dalam keadaan dingin dengan menggunakan 100 mL larutan penyangga (*buffer*)  $Na_2CO_3$ - $Na_2HCO_3$  100 mM, pH 10,5. Larutan enzim kemudian digoyang menggunakan *orbital shaker* dengan kecepatan 110 rpm selama 1 jam. Ekstrak yang diperoleh kemudian disaring

dengan menggunakan kain kasa basah yang dilanjutkan sentrifugasi sejumlah dua kali dengan menggunakan *refrigerated centrifuge* 4°C dengan larutan pengawet dan digunakan untuk uji aktivitas xilanase. Supernatan ini selanjutnya disebut dengan ekstrak kasar.

### Uji Aktivitas Xilanase dan Pengukuran Gula Pereduksi

Uji aktivitas xilanase dilakukan dengan menggunakan metode Nakamura dkk., 1993 dengan modifikasi. Aktivitas xilanase diuji dengan mengukur jumlah gula pereduksi dari xilan dengan menggunakan metode Ferisianida Alkali (Walker dan Harmon, 1996). Larutan akhir yang diperoleh kemudian diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer, lalu dimasukkan ke dalam persamaan garis yang diperoleh dari kurva standar xilosa. Konsentrasi xilosa yang digunakan untuk standar adalah 0-80 mg/100mL. Satu unit (U) aktivitas xilanase didefinisikan sebagai jumlah enzim yang dapat menghasilkan 1 µmol gula pereduksi (xilosa) per menit pada kondisi percobaan.

### Pre-Bleaching Pulp dengan Xilanase dan Pemutihan Pulp dengan Sistem ECF

Proses *pre-bleaching* dilakukan pada pulp sebanyak 180 gram (O.D) dengan menambahkan xylanase dengan dosis 0 (kontrol/tanpa enzim); 0,5; 0,75; dan 1,00 kg/ton pulp. Kondisi pada tahap ini adalah konsistensi 10%, suhu 50°C, dan waktu reaksi 60 menit. Setelah dilakukan proses *pre-bleaching*, pulp kemudian diputihkan dengan menggunakan tahapan pemutihan seperti disajikan pada Tabel 1.

Lembaran pulp yang dihasilkan kemudian diuji Indeks Tarik (SNI. 14-4737-1998), Indeks Retak (SNI 14-1442-1998), Indeks Sobek (SNI.

0436:2009), Derajat putih (SNI 14-4733-1998). Sedangkan air limbah proses pemutihan diuji nilai COD (SNI 6989.73:2009) dan AOX (SNI 7228.2:2011)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Aktivitas dan Karakteristik Xilanase yang digunakan

Xilanase yang digunakan pada percobaan penelitian ini diproduksi dengan menggunakan tongkol jagung berukuran 20-40 mesh sebagai substrat padat. Xilanase diproduksi dengan menggunakan fermentasi fase padat dengan cara menambahkan MS 7 dengan rasio substrat-MA = 1:2,5 (w/v); inokulum sejumlah 10% (v/w) pada waktu inkubasi 4 hari. Aktivitas xilanase yang diperoleh yaitu sebesar 11,006 U/mL (61,14 U/mg) dengan aktivitas selulase sebesar 0,07 U/mL (0,389 U/ mg). Karakterisasi xilanase dari *Bacillus* yang digunakan untuk *pre-bleaching* adalah memiliki pH optimum 8,5 dengan suhu optimum 50°C.

### Pengaruh Xilanase terhadap Bilangan Kappa

Bilangan Kappa adalah parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat kematangan, daya terputihkan atau derajat delignifikasi pulp kimia dan semi kimia baik pulp belum putih maupun setengah putih. Artinya semakin rendah bilangan Kappa pulp maka pulp akan semakin mudah untuk diputihkan. Bilangan Kappa pulp yang digunakan pada penelitian ini berkisar antara 12-16, karena menurut Mimms (1993) dan McDonough dkk. (2009) bilangan Kappa pulp kayudaun yang mudah diputihkan biasanya berkisar antara 13-15. Hasil penelitian menunjukkan bilangan Kappa pulp yang diberi perlakuan xilanase lebih rendah jika dibandingkan

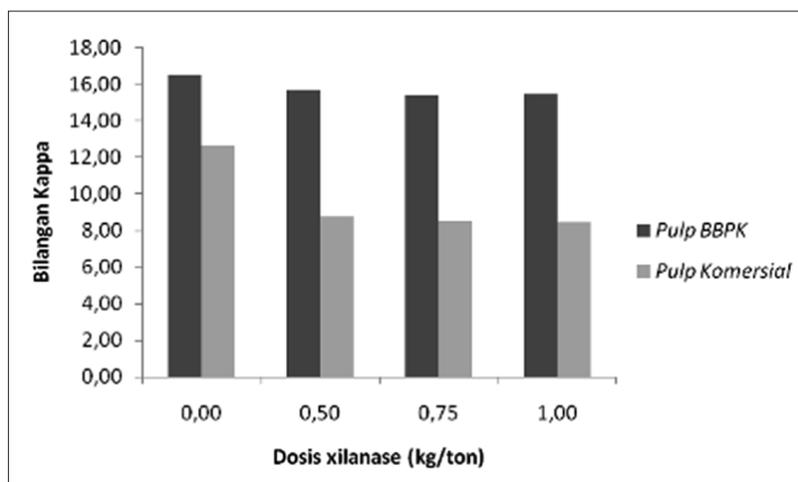
Tabel 1. Tahapan Pemutihan D<sub>0</sub>ED<sub>1</sub>D<sub>2</sub>

Tahap pemutihan	Bahan kimia	Dosis (%)	Waktu (menit)	Temperatur (°C)	Konsistensi (%)
D <sub>0</sub> (klor dioksida awal)	ClO <sub>2</sub>	0,22 Bilangan Kappa/2,63	60	60	10
E (ekstraksi)	NaOH	1	60	70	10
D <sub>1</sub> (klordioksida 1)	ClO <sub>2</sub>	1	180	75	10
D <sub>2</sub> (klordioksida 2)	ClO <sub>2</sub>	0,5	180	75	10

dengan kontrol baik untuk pulp BBPK dan pulp komersial (Gambar 1). Persen penurunan bilangan Kappa pada pulp komersial lebih tinggi jika dibandingkan dengan pulp BBPK, yaitu antara 30,81 - 33,18 % (pulp komersial) dan 4,96 – 6,71% (pulp BBPK) jika dibandingkan dengan kontrol. Persentase penurunan bilangan Kappa ini meningkat seiring dengan meningkatnya dosis xilanase yang ditambahkan pada proses *pre-bleaching*. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Christov dan Prior (1996) yang menyatakan bahwa penambahan xilanase pada proses pemutihan dapat meningkatkan *bleachability* pulp yang ditandai dengan persen penurunan bilangan Kappa sejumlah 24%. Adanya perbedaan persentase penurunan bilangan Kappa kemungkinan karena perbedaan jenis kayu yang digunakan dan proses yang digunakan dalam *pre-bleaching*. Bilangan Kappa dari pulp BBPK lebih tinggi daripada pulp komersial karena tidak melalui proses pembersihan suspensi pulp seperti yang digunakan pada skala komersial sehingga pulp BBPK masih mengandung lignin

lebih banyak daripada pulp komersial. Penurunan bilangan Kappa pada proses *pre-bleaching* kemungkinan terjadi karena :

- xilanase menghidrolisis xilan yang terpresipitasi pada permukaan serat saat proses pembuatan pulp terjadi sehingga ikatan antar xilosa pada rantai xilan akan terhidrolisis akibatnya xilanase akan memudahkan masuknya bahan kimia pemutih untuk delignifikasi yang mengakibatkan degradasi dan difusi lignin dari pulp meningkat. Selain itu xilanase akan menurunkan ukuran kompleks lignin-karbohidrat sehingga kompleks tersebut lebih mudah untuk berdifusi pada tahapan ekstraksi selanjutnya
- xilanase membebaskan residu lignin yang tersisa setelah proses pemasakan dengan cara melepaskan fragmen xilan-kromofor sehingga ekstraksi lignin menjadi lebih mudah (Kirk dan Jeffries, 1996)
- Efek terakhir dari penurunan bilangan Kappa adalah menurunnya penggunaan klordioksida ( $\text{ClO}_2$ ) pada tahap  $D_0$ . Dosis penambahan



Gambar 1. Pengaruh Xilanase terhadap Bilangan Kappa

Tabel 2. Pengaruh Penambahan Xilanase terhadap Konsumsi Klordioksida pada Tahap  $D_0$

Dosis Xilanase (kg/ton pulp)	Bilangan Kappa		Konsumsi $\text{ClO}_2$ pada tahap $D_0$ (%)	
	Pulp BBPK	Pulp Komersial	Pulp BBPK	Pulp Komersial
0 (Kontrol)	16,54	12,66	1,38	1,06
0,5	15,72	8,76	1,31	0,73
0,75	15,43	8,53	1,29	0,71
1	15,47	8,46	1,29	0,71

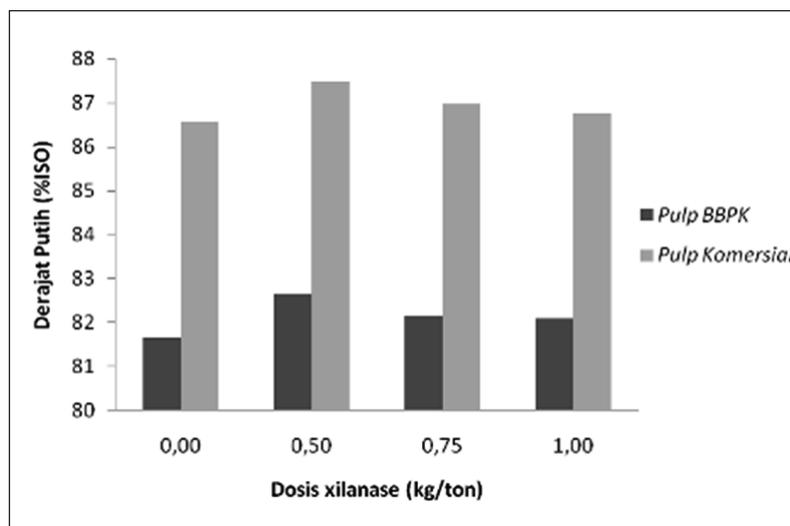
klordioksida pada tahap  $D_0$  dihitung dengan persamaan  $(0,22 \times \text{bilangan Kappa})/2,63$  (Kocurek, 1989) seperti terlihat pada Tabel 2. Hasil penelitian menunjukkan, penambahan xilanase dapat mengurangi jumlah pemakaian  $\text{ClO}_2$  pada tahap  $D_0$  sebesar 4,95 – 6,71% untuk pulp BBPK dan 30,80 – 33,18 % untuk pulp komersial.

Dengan adanya persen penurunan klor aktif yang digunakan pada pulp yang diberi perlakuan xilanase artinya konsumsi klordioksida yang digunakan akan lebih hemat dan pada akhirnya proses *bleaching* akan menjadi lebih ramah lingkungan. Persen penurunan klor aktif untuk pulp BBPK masih jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan pulp komersial, oleh karena itu sebaiknya dilakukan penambahan dosis xilanase atau modifikasi urutan tahapan pemutihan pulp sehingga bisa diperoleh persen penurunan klor aktif yang lebih tinggi. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tjahjono dan Sudarmin (2008) dan pernyataan dari Christov dan Prior (1996) yang menyatakan bahwa penambahan xilanase dapat menurunkan total klorin aktif sebesar 15%. Hal yang serupa juga dinyatakan oleh Garg dkk (1998) dan Vicuna dkk (1997) dalam Beg dkk. (2001) yang menyatakan bahwa penggunaan xilanase pada tahap pra-pemutihan ini dapat mereduksi penggunaan bahan kimia berbasah dasar klorin/ bahan pengoksidasi yang bersifat toksik sejumlah 20-40%.

### Pengaruh Xilanase terhadap Derajat Putih Pulp

Pulp yang dihasilkan dari proses pemasakan secara kimia masih berwarna kecoklatan sehingga untuk mendapatkan produk kertas yang berwarna putih, pulp tersebut perlu diputihkan. Tujuan utama dari proses pemutihan adalah untuk meningkatkan derajat putih, agar pulp tersebut dapat dibuat kertas jenis tertentu. Proses pemutihan pulp tidak hanya membuat pulp menjadi lebih putih atau cerah, tetapi juga membuat warna stabil sehingga tidak menguning atau kehilangan kekuatan dan derajat putih selama penyimpanan. Menurut SNI ISO 2470:2010 - Kertas, karton dan pulp- Cara uji faktor pantul biru cahaya baur (derajat putih ISO), derajat putih didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas cahaya biru dengan panjang gelombang 457 nm yang dipantulkan oleh permukaan kertas atau karton dengan pencahayaan baur dengan sudut pengamatan  $0^\circ$  yang dinyatakan dalam persen. Pengaruh penambahan xilanase pada tahap awal pemutihan pulp terhadap derajat putih pulp dapat dilihat pada Gambar 3.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan xilanase dapat meningkatkan derajat putih pulp sebesar 0,51–1,22% (pulp BBPK) dan 0,23–1,06% (pulp komersial) jika dibandingkan dengan kontrol. Peningkatan derajat putih tertinggi untuk pulp BBPK dan pulp komersial diperoleh pada dosis xilanase 0,50 kg/ton, derajat putih pulp menurun seiring dengan



Gambar 2. Pengaruh Xilanase terhadap Derajat Putih Pulp (%ISO)

meningkatnya dosis xilanase yang digunakan namun masih di atas kontrol. Jika dibandingkan dengan SNI 6107:2009 (Spesifikasi Pulp Kraft Putih Kayudaun (LBKP)), maka pulp putih dari pulp komersial telah sesuai dengan spesifikasi pulp putih LBKP yang menetapkan standar minimal 85% ISO. Agar derajat putih pulp putih BBPK dapat mencapai spesifikasi persyaratan SNI, perlu ditambahkan oksigen dan hidrogen peroksida pada pemutihan pulp tahap ekstraksinya (E), klordioksida mempunyai tingkat selektivitas yang tinggi hanya bereaksi dengan lignin dan tidak bereaksi secara luas dengan karbohidrat. Selain memiliki selektivitas yang tinggi, klordioksida dapat memberikan derajat putih pulp akhir yang tinggi tanpa penurunan kekuatan pulp (Kocurek, 1989).

### **Pengaruh Xilanase terhadap Kadar Ekstraktif Pulp Putih**

Ekstraktif adalah bahan kimia dalam kayu yang dapat dilarutkan dalam pelarut netral seperti air, eter, etanol, benzene dan aseton. Kandungan ekstraktif pada kayu bervariasi yaitu antara 1 – 10% dan dapat mencapai 20% pada kayu-kayu tropis. Kadar ekstraktif merupakan salah satu parameter kualitas pulp putih yang sangat penting. Kadar ekstraktif pada pulp akan menyebabkan masalah *pitch* pada proses pencucian dan penyaringan pulp dan pada saat pembuatan kertas.

Xilanase pada *pre-bleaching* pulp dapat menurunkan kandungan ekstraktif pulp BBPK namun meningkatkan kadar ekstraktif pada pulp komersial jika dibandingkan dengan kontrol. Kadar ekstraktif terendah diperoleh pada dosis 1 kg/ton untuk pulp BBPK dengan penurunan kadar ekstraktif sebesar 1,23%, sedangkan kandungan ekstraktif pada pulp komersial turun sekitar 16,67% pada dosis 0,5 kg/ton. Penurunan kandungan ekstraktif ini sebagai akibat dari bahan kimia berlebih karena adanya penambahan xilanase. Kadar ekstraktif pulp putih untuk pulp BBPK masih di atas persyaratan dalam SNI 6107:2009 (Spesifikasi Pulp Kraft Putih Kayudaun (LBKP)) yaitu maksimal sebesar 0,4%, sedangkan kadar ekstraktif pulp komersial dapat memenuhi standar SNI 6107:2009 (Spesifikasi Pulp Kraft Putih Kayudaun (LBKP)). Penurunan ekstraktif pada pulp dapat dilakukan dengan cara menambahkan surfaktan pada proses

pemasakan dalam *digester* (kimia) atau dengan menambahkan lipase (biologi).

### **Pengaruh Xilanase terhadap Sifat Fisik Lembaran Pulp**

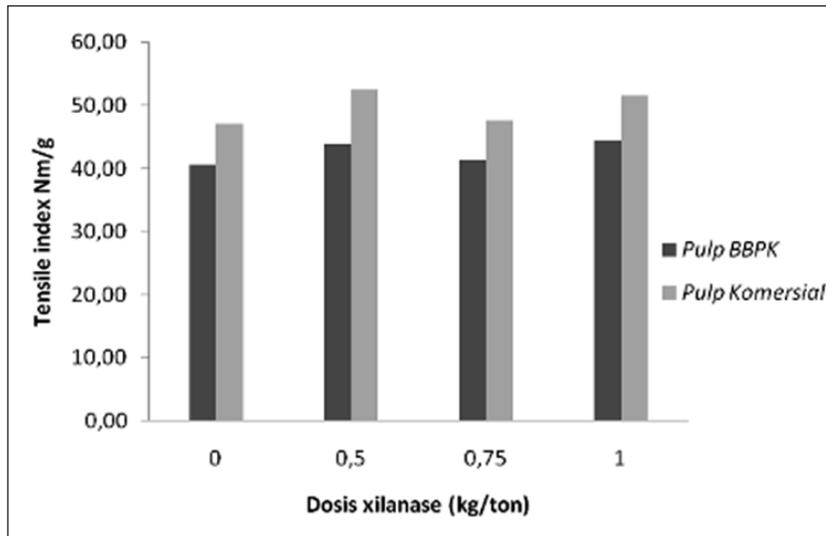
Penambahan enzim pada proses *pre-bleaching* diharapkan tidak menurunkan sifat fisik lembaran pulp. Sifat fisik lembaran pulp yang diuji adalah ketahanan tarik, retak dan sobek yang kemudian dikonversi menjadi indeks tarik, retak dan sobek. Konversi dilakukan dengan cara membagi nilai ketahanan yang diperoleh dengan gramatur.

Pengaruh xilanase pada *pre-bleaching* pulp terhadap kekuatan fisik lembaran pulp putih dapat dilihat pada Gambar 3. (Indeks tarik), Gambar 4. (Indeks retak) dan Gambar 5. (Indeks sobek). Secara umum penambahan xilanase dapat meningkatkan indeks tarik lembaran pulp BBPK dan pulp komersial (Gambar 3.). Persentase peningkatan indeks tarik tertinggi diperoleh pada penambahan dosis 1 kg/ton sebesar 11,35% untuk pulp komersial dan dosis 0,5 kg/ton sebesar 9,22% untuk pulp BBPK jika dibandingkan dengan kontrol.

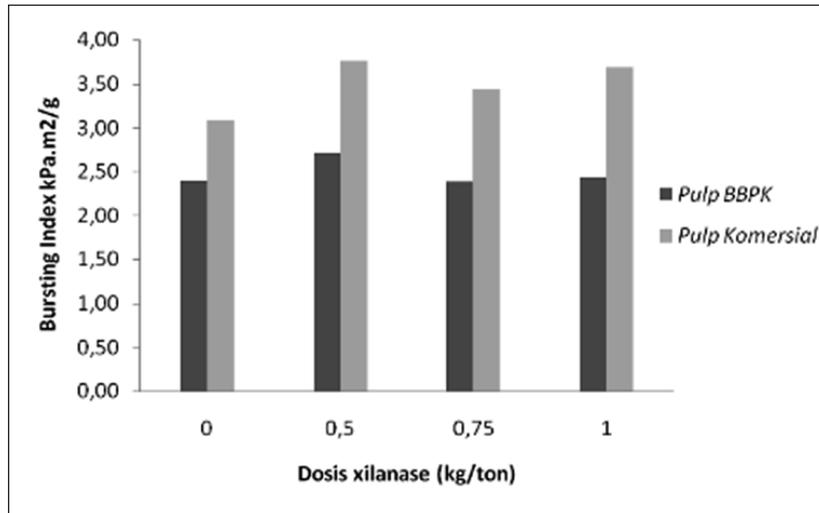
Secara umum penambahan xilanase dapat meningkatkan indeks retak lembaran pulp BBPK dan pulp komersial (Gambar 4). Pada pulp BBPK, persen peningkatan indeks tertinggi diperoleh pada penambahan xilanase 0,5 kg/ton (12,92%) kemudian menurun pada dosis 0,75 kg/ton kemudian meningkat lagi pada dosis yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kontrol. Persentase peningkatan indeks retak tertinggi diperoleh pada penambahan dosis 0,5 kg/ton (22,08%) untuk pulp komersial jika dibandingkan dengan kontrol.

Hasil penelitian penambahan xilanase terhadap indeks sobek dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan xilanase menyebabkan indeks sobek lembaran pulp BBPK dan pulp komersial turun. Persentase penurunan terendah diperoleh pada penambahan dosis 0,5 kg ton (10,20%) untuk pulp BBPK dan dosis 0,75 kg/ton (11,04%) pada pulp komersial.

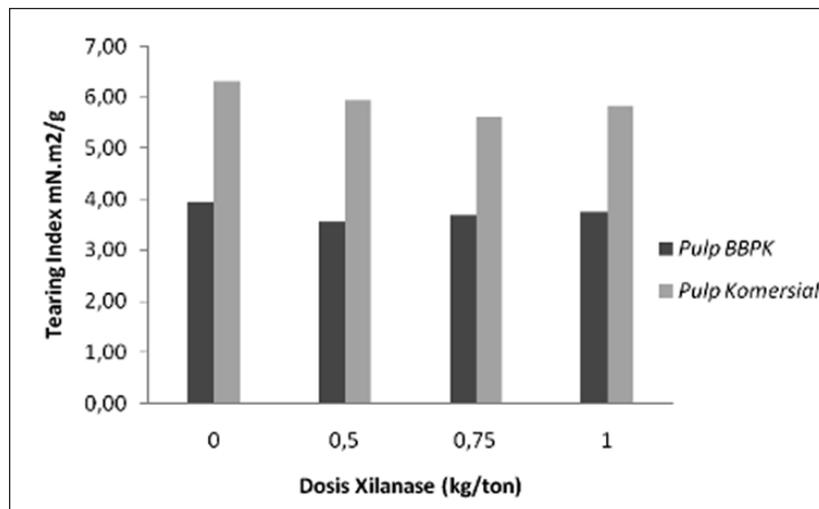
Meningkatnya sifat fisik lembaran pulp (tarik dan retak) menunjukkan bahwa penambahan xilanase dapat menurunkan kandungan lignin pada pulp akibatnya kekuatan antar serat semakin meningkat sehingga kekuatan fisik pulp putih



Gambar 3. Pengaruh Xilanase terhadap Indeks Tarik



Gambar 4. Pengaruh Xilanase terhadap Indeks Retak



Gambar 5. Pengaruh Xilanase terhadap Indeks Sobek

meningkat. Meningkatnya nilai sifat fisik pulp dengan penambahan xilanase dibandingkan dengan kontrol, menunjukkan bahwa xilanase dapat meningkatkan selektivitas dalam proses pemutihan artinya proses delignifikasi lebih dominan jika dibandingkan dengan reaksi karbohidrat. Selektivitas yang tinggi dalam proses pemutihan akan menurunkan degradasi karbohidrat (selulosa) sehingga kekuatan fisik pulp meningkat (Tjahjono dan Sudarmin, 2008). Menurunnya indeks sobek pada pulp putih menunjukkan masih ada selulase pada ekstrak kasar xilanase yang digunakan dan secara tidak langsung membantu dalam proses fibrilasi pada proses penggilingan sehingga serat menjadi tidak utuh akibatnya kekuatan serat menurun. Jika kekuatan fisik lembaran pulp putih dibandingkan dengan SNI 6107:2009 (Spesifikasi Pulp Kraft Putih Kayudaun (LBKP)) maka secara umum kekuatan fisik pulp BBPK masih dibawah standar kecuali untuk indeks retak pada penambahan dosis 0,5 kg/ton, sedangkan indeks tarik dan retak pulp komersial lebih tinggi jika dibandingkan dengan standar baik untuk pulp kontrol dan pulp yang diberi perlakuan xilanase, sedangkan indeks sobek masih di bawah standar.

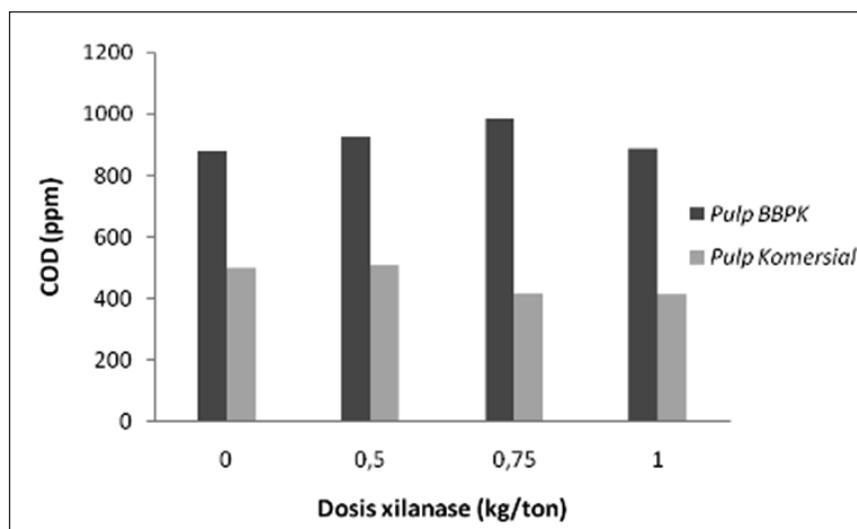
### **Pengaruh Xilanase terhadap Karakteristik Air Limbah yang dihasilkan**

Air limbah dari proses pemutihan pulp dianalisis COD dan AOX untuk melihat pengaruh penambahan xilanase terhadap kualitas

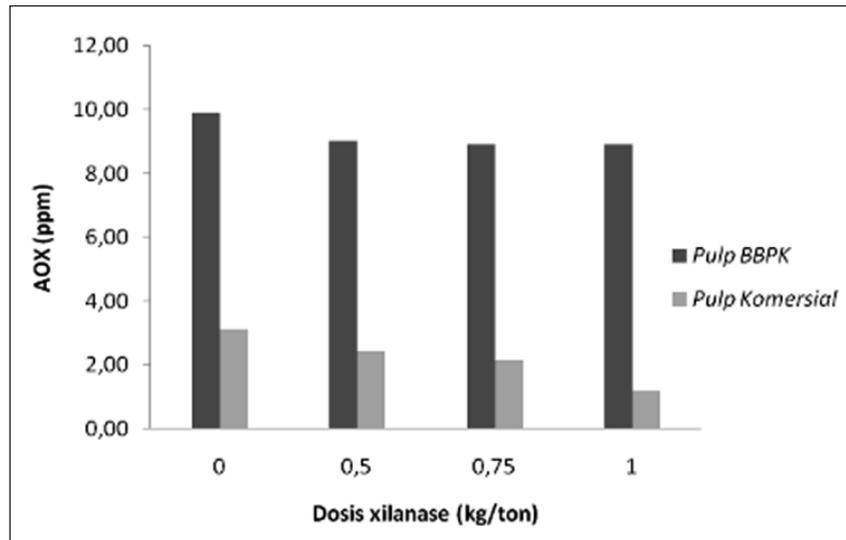
air limbahnya. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar COD untuk seluruh air limbah yang dihasilkan baik pulp BBPK dan pulp komersial meningkat sejumlah 0,98 – 10,65% jika dibandingkan dengan kontrol (Gambar 6). Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Vidal dkk. (1997) yang menyatakan bahwa COD dari efluen yang diberi perlakuan enzim dua kali lebih tinggi daripada kontrol. Hal ini terjadi karena xilanase menghidrolisis beberapa fraksi xilan pada pulp menyebabkan karbohidrat dan lignin yang terikat pada xilan tersebut terlepas sehingga kadar COD pada efluen meningkat.

Untuk kadar AOX dalam air limbah, hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar AOX untuk seluruh air limbah yang dihasilkan baik pulp BBPK dan pulp komersial menurun sejumlah 8,61 – 9,82% untuk pulp BBPK dan 21,40 – 61,98% untuk pulp komersial jika dibandingkan dengan kontrol (Gambar 7). Jika dibandingkan dengan pustaka maka hasil ini sesuai dengan Beg dkk. (2001) yang menyatakan penggunaan xilanase pada tahap pra-pemutihan pulp dapat mereduksi penggunaan bahan kimia berbasah dasar klorin atau bahan pengoksidasi yang bersifat toksik sejumlah 20-40%. Dengan menurunnya senyawa klorin yang digunakan pada proses pemutihan maka secara teoritis diharapkan kandungan bahan berbahaya seperti senyawa organik terklorinasi (AOX) dan dioksin pada air limbah industri pulp dan kertas dapat direduksi (Dence



Gambar 6. Pengaruh Xilanase terhadap Konsentrasi COD pada Efluen Proses Pemutihan Pulp



Gambar 7. Pengaruh Xilanase terhadap Konsentrasi AOX pada Efluen Proses Pemutihan Pulp

dan Reeve, 1996). Oji *Paper*-Jepang telah menggunakan xilanase yang tahan alkali dan suhu tinggi dalam proses pemutihan, hasilnya xilanase dapat menurunkan jumlah klorin dan klorin dioksida yang digunakan sejumlah 35% dan 65%. Akibatnya telah terjadi reduksi AOX sebesar 40% (OECD, 2001). Penelitian lain menyatakan bahwa aplikasi xilanase dengan tahapan pemutihan XD(EO)P(EP)D dapat menurunkan warna dan konsentrasi AOX dari keluaran industri pulp dan kertas sejumlah 30% dan 46% (Strunk dkk., 1992)

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan xilanase yang dihasilkan memiliki aktivitas optimum pada pH dan 8,5 dengan suhu 50°C. Kunci keberhasilan penggunaan xilanase pada proses *pre-bleaching* adalah dapat mengurangi penggunaan klordioksida pada tahapan pemutihan. Xilanase dapat menurunkan penggunaan klordioksida secara optimum pada dosis xilanase 0,5 kg/ton. Xilanase dapat meningkatkan derajat putih pulp, kekuatan fisik pulp (indeks tarik dan retak) untuk pulp BBPK dan komersial pada dosis xilanase sebesar 0,5 kg/ton. Secara umum penambahan xilanase pada proses *pre-bleaching* meningkatkan kandungan COD pada air limbah proses pemutihan yang dihasilkan namun dapat menurunkan kandungan AOX.

## DAFTAR PUSTAKA

- Beg, Q.K., Kapoor. M., Mahajan, L., Hoondal, G. S. 2001. *Microbial xylanases and their industrial applications: a review*. Applied Microbiology and Biotechnology, (56): 326-338.
- Christov, L.P. dan B.A. Prior. 1996. *Reduction of active chlorine charges in bleaching of xylanase pre-treated sulfite pulp*. ACS.
- Dence, C.W., Douglas W. Reeve (ed). 1996. *Pulp Bleaching: Principles and Practice*. TAPPI Press Atlanta, Georgia, USA.
- Dhillon A, Gupta JK, Khanna S (2000). Enhanced production, purification and characterization of a novel cellulase poor thermostable, alkali-tolerant xylanase from *Bacillus circulans* AB 16. *Process Biochem.* 35: 849-856.
- Kirk, T. K., Jeffries, T.W., 1996. *Roles for microbial enzymes in pulp and paper processing*, dalam Jeffries, T.W., Viikari, L. (ed). *Enzymes for Pulp and Paper Processing*, Bab 1. Washington. USA. pp. 1-13.
- Kirk, T.K. dan Thomas W. Jeffries. 1996. *Roles for microbial enzymes in pulp and paper processing*. ACS.
- Kocurek, M.G. 1989. *Pulp and Paper Manufacture, Vol 5: Alkaline Pulping*. Joint Textbook Committee of The Paper Industry. Atlanta.
- McDonough, T.J., Shunichiro uno, Alan W. Rudie, and Charles E. Courchene. 2009. Optimization of ECF Bleaching of Kraft Pulp: II. Effects of Acid Prehydrolysis on Hardwood Pulp Bleachability. *Tappi Journal*.

- Mimms, A. 1993. *Kraft Pulping: A compilation of Notes*. TAPPI Press. Atlanta.
- Nakamura, S., K. Wakabayashi, R. Nakai, R. Aono, K. Horikoshi. 1993. *Purification and some properties of an alkaline xylanase from alkaliphilic Bacillus sp. strain 41M-1*. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(7): 2311- 2316.
- OECD, 2001. *The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability - A Primer*.
- Strunk, W., R. Klein, D. Elm, R.Choma, V. Sundaram. 1992. *Enzyme boosting and peroxide reinforcement in 100% chlorine dioxide bleaching sequences- A low capital alternative to oxygen delignification* dalam: Kulas, K.A (ed). 1992. *Elemental chlorine free bleaching*. TAPPI Press, Atlanta.
- Tjahjono, H.J., Sudarmin. 2008. *Pengaruh Xylanase pada Perlakuan Awal Pemutihan Terhadap Kualitas Pulp*. *Berita Selulosa*, 43(2): 62-68.
- Vidal T., Torres A.L., Colom J.S., Siles F., 1997. Xylanase bleaching of eucalyptus kraft pulp - an economical ECF process, *Appita J.*, 50(2):144-148
- Viikari L., Kantelinen A., Sundquist J. and Linko M. 1994, Xylanases in bleaching: from and idea to the industry. *FEMS Microbiol. Rev.*, 13, 335 - 355.
- Walker, J.A., D. L. Harmon. 1996. Technical Note: A Simple, Rapid Assay for a- Amylase in Bovine Pancreatic Juice. *Journal of Animal Science*, 74: 658-66
- <http://www.investor.co.id/agribusiness/pengembangan-hti-dukung-ri-jadi-Produsen-pulp-terbesar-dunia/5732>. diakses 16 Februari 2011

