

PENGARUH XILANASE PADA PERLAKUAN AWAL PEMUTIHAN TERHADAP KUALITAS PULP

Judi Tjahjono*, Sudarmin
*Balai Besar Pulp dan Kertas - Bandung

THE INFLUENCES OF XILANASE APPLICATION IN PREBLEACHING ON PULP QUALITY

ABSTRACT

In this experiment, xylanase was used prior to bleaching. The dosages of xylanase are 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.25 kg/ton of chips. The pulps after pretreatment were tested and treated with $D_0ED_1D_2$ bleaching sequences. The results show that xylanase can decrease kappa number as much as 10.33 – 11.45. The optimum kappa number (10.33) was obtained by addition xylanase 0.75 kg/ton of chips. Xylanase also increase bleachability of pulp and decrease dirt on pulp, from initial brightness 82.4 %ISO to 83.10 %ISO. While dirt from 9.5 mm²/m² was decrease to 7 – 8 mm²/m². Xylanase was able to decrease dichloromethane extractive content in bleached pulp as much as 0.06 – 0.14 point. Xylanase also increases bleaching selectivity, as physical strength of pulp tend to increase.

Keywords : xylanase, pretreatment, kappa number, bleaching, pulp quality

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan xilanase pada perlakuan awal sebelum pemutihan. Dosis penambahan xilanase adalah 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 kg/ton serpih bahan baku. Terhadap pulp hasil perlakuan awal dengan xilanase dilakukan analisa bilangan Kappa dan kemudian diputihkan dengan tahapan $D_0ED_1D_2$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa xilanase dapat menurunkan bilangan Kappa sebesar 10,33 - 11,45. Bilangan kappa optimum sebesar 10,33 didapat dengan penambahan xilanase 0,75 kg/ton serpih. Xilanase dapat meningkatkan kecerahan pulp dari 82,4 %ISO menjadi 83,10 %ISO dan menurunkan noda pada lembaran dari 9,5 mm²/m² menjadi 7 – 8 mm²/m². Xilanase dapat menurunkan kadar ekstraktif diklorometana (DCM) dalam pulp putih sebesar 0,06 – 0,14 poin dan dapat meningkatkan selektifitas pemutihan seperti nampak pada kecenderungan naiknya sifat fisik lembaran pulp.

Kata kunci : xilanase, perlakuan awal, bilangan kappa, pemutihan, kualitas pulp

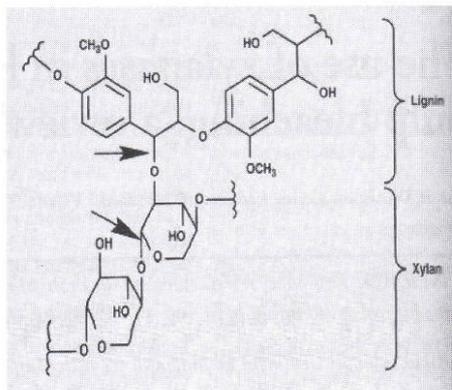
PENDAHULUAN

Tujuan proses pemutihan adalah untuk meningkatkan derajat putih pulp untuk dibuat kertas jenis tertentu. Proses pemutihan pulp tidak hanya membuat pulp menjadi lebih putih atau cerah, tetapi juga membuatnya stabil sehingga tidak mengalami perubahan warna, kehilangan kekuatan dan derajat putih selama penyimpanan. Pemutihan konvensional merupakan proses yang melibatkan senyawa klor murni yang ditempatkan pada awal proses pemutihan. Penggunaan klor sebagai bahan pemutih pulp mulai banyak ditinggalkan karena

buangannya yang mengandung senyawa klor organik berupa dioksin dan furan yang berbahaya dan beracun bagi manusia dan sekitarnya (Dence and Reeve, 1996). Penggunaan khlor dioksida sebagai bahan kimia pemutih pulp berkembang luas dan pengaruhnya terhadap lingkungan relatif kecil dibandingkan dengan klor. Di samping itu khlor dioksida mempunyai sifat selektifitas yang tinggi sebab hanya bereaksi dengan lignin dan tidak bereaksi secara luas dengan karbohidrat. Secara komersial penggunaan khlor dioksida dikombinasikan

dengan delignifikasi oksigen sebagai *prebleaching* pada sistem pemutihan *Elemental Chlorine-Free* (ECF) dengan tahapan proses $OD_0E_0D_1D_2$.

Penggunaan xilanase merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan khlor dalam proses pemutihan pulp kraft. Penelitian penggunaan xilanase pertama kali digunakan dalam proses pemutihan pulp kraft pada awal tahun 1980, dimana xilanase digunakan untuk meningkatkan daya terputihkan (*bleachability*) pulp kraft. Daya terputihkan (*bleachability*) merupakan salah satu parameter pulp belum putih. Parameter ini perlu ditentukan karena secara tidak langsung berkaitan dengan kadar lignin di dalam pulp dan kemudahan bahan kimia pemutih memasuki serat (struktur serat). Xilanase merupakan enzim yang dapat menghidrolisis ikatan xylose-xylose dalam rantai xilan dan hanya melarutkan sebagian fraksi dari sejumlah xilan yang terdapat dalam pulp. Aksi xilanase dalam proses pemutihan yaitu memecahkan ikatan xylose-xylose dalam rantai xilan sehingga mengakibatkan pecahnya ikatan antara sisa lignin dengan karbohidrat (Gambar 1).



Gambar 1. Posisi pemecahan ikatan xilose-xilose dalam rantai xilan (Deneault, 1994)

Perlakuan pendahuluan dengan xilanase pada proses pemutihan ternyata sangat efektif untuk menurunkan jumlah pemakaian total khlor aktif 25-50 % dalam proses pemutihan pulp kraft kayu daun. Xilanase mempunyai pengaruh yang baik terhadap serat pulp dalam proses pemutihan, dimana xilanase ini dapat mendegradasi ikatan xilan pada sisa lignin yang sulit dihilangkan selama pemutihan kimia pada pulp kraft. Sumber xilanase diantaranya diperoleh dari jamur. Sumber xilanase yang berasal dari jamur mengandung selulase, β -glukosidase, dan xylosidase. Sebagai contoh, xilanase yang berasal dari jamur *Aspergillus pullulans* mengandung selulase kurang dari 0.5 %, β -glukosidase kurang dari 0.01 % dan yang bersumber dari jamur *Trichoderma viride* mengandung selulase kurang

dari 0.2 %, β -glukosidase kurang dari 0.01 % dan xylosidase kurang dari 0.02 % (Bajpai, 1996).

Dalam proses pemutihan pulp, xilanase berfungsi sebagai fasilitator proses pemutihan, artinya enzim tersebut tidak memutihkan tetapi mempermudah proses pemutihan dengan jalan modifikasi struktur serat sehingga mudah dimasuki oleh bahan kimia pemutih (Tolan, 1992). Berdasarkan mekanisme kerja xilanase, ikatan kompleks lignin-karbohidrat yaitu ikatan-ikatan xilan pada sisi lignin menjadi mudah untuk dihilangkan pada tahapan pemutihan selanjutnya. Selain itu xilanase berperan dalam mengatasi pengendapan kembali xilan pada permukaan serat. Pengendapan kembali xilan ini terjadi setelah pemasakan proses kraft. Xilan yang mengendap kembali tersebut melindungi sisa lignin dari bahan kimia pemutih pada proses pemutihan pulp.

Faktor utama yang mempengaruhi efektifitas perlakuan dengan xilanase meliputi pH, suhu, konsistensi, dispersi enzim dan dosis enzim serta waktu reaksi. Oleh karena enzim adalah suatu protein, maka perubahan pH akan mempengaruhi sifat ion dari gugusan-gugusan amina dan karboksilat sehingga akan mempengaruhi bagian aktif dari enzim. Di samping itu pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan mengakibatkan denaturasi (perubahan sifat) protein sehingga enzim tersebut menjadi tidak aktif. Xilanase yang bersumber dari jamur efektif pada pH 4-6 sedangkan xilanase yang bersumber dari bakteri efektif pada pH 6-9 (Tolan, 1992). Suhu yang tinggi akan mengakibatkan kehilangan fungsi kerja enzim karena mengalami perubahan sifat. Suhu optimum untuk perlakuan dengan xilanase berkisar antar 35-60 °C, pada suhu rendah pun hasilnya sama tetapi waktu perlakuannya lebih lama (Singh, 1991; Tolan, 1992).

Dispersi dan dosis yang cukup dari xilanase dalam pulp adalah sangat penting untuk efektifitas xilanase. Pada umumnya, tingkat pencampuran (dispersi) tergantung pada perlengkapan yang digunakan untuk menambahkan xilanase ke dalam pulp dan penyebarannya pada pulp belum putih. Dalam menambahkan xilanase konsistensi optimumnya yaitu 5 – 10 % (Tolan, 1992). Waktu perlakuan dengan xilanase mem-

pengaruhi besarnya degradasi terhadap ikatan xilan dalam pulp. Keuntungan dan manfaat xilanase pada pemutihan terlihat setelah waktu perlakuan 1 jam. Waktu perlakuan yang digunakan biasanya kurang dari 3 jam yaitu sekitar 2 jam.

Berdasarkan informasi diatas, xilanase cukup mudah untuk diaplikasikan pada pemutihan pulp. Pada penelitian ini xilanase diaplikasikan sebelum proses pemutihan sistem ECF. Pada prinsipnya proses pemutihan dengan bantuan xilanase ini, menempatkan perlakuan xilanase sebelum tahap klorinasi dan jika ada proses oksidasi maka tahap oksidasi ditempatkan sebelum perlakuan xilanase yaitu oksigen (O)–xilanase (X) – klorinasi (C) atau khlordioksida (D). Setelah tiga tahap tersebut, tahap yang digunakan tergantung pada derajat putih yang diinginkan. Ada beberapa tahapan proses pemutihan yang dapat diterapkan setelah tiga tahapan proses di atas diantaranya tahap ekstraksi alkali (E); tahap khlordioksida lanjutan (D); tahap hypoklorit (H); tahap peroksida (P)

METODOLOGI

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah pulp kraft belum putih dari *Acacia mangium* yang diperoleh dari pabrik pulp di Sumatera dengan bilangan kappa 12,66. Bahan kimia yang digunakan antara lain NaClO_2 dan Cl_2 (untuk mendapatkan ClO_2), NaOH , air demineral, KMnO_4 0.1 N, KI 10 %, indikator kanji 0,2 %, H_2SO_4 4 N, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.2 N dan akuades. Xilanase diperoleh dari salah satu pemasok enzim untuk pabrik pulp dan kertas dengan nama produk *endo-beta 1.4 xilanase*. Spesifikasi xilanase antara lain berwujud cairan berwarna kuning muda, mempunyai *specific gravity* 1,05 – 1,15 g/ml, pH 6 - 8,0, temperatur optimum 50 – 90 °C.

Metoda

Perlakuan awal xilanase

Perlakuan dengan xilanase terhadap pulp kraft *Acacia mangium* belum putih pada proses pemutihan, dilakukan sebelum tahap khlordioksida dengan tahapan pemutihan $D_0ED_1D_2$. Kondisi perlakuan xilanase adalah konsistensi pulp 10%, temperatur 50 °C, pH 6 dan waktu reaksi 60 menit. Variasi perlakuan xilanase terdiri dari 5 dosis (kg per ton pulp), yaitu 0,25 ; 0,5 ; 0,75 ; 1,00 ; 1,25 dan blanko.

Pulp kraft *Acacia mangium* belum putih dengan berat kering (*oven dry*) 180 gram dan

konsistensi 10% dimasukkan ke dalam kantong plastik. Kemudian xilanase dengan dosis variasi seperti di atas dimasukkan ke dalam campuran pulp tersebut. Kantong plastik tersebut dimasukkan ke dalam penangas air (*water batch*) pada temperatur 50 °C untuk mencapai kondisi perlakuan yang dikehendaki. Setelah batas waktu perlakuan xilanase tercapai, kemudian pulp dicuci dan diperas untuk selanjutnya dilakukan uji bilangan kappa dengan metoda SNI 0494 : 2008, *Pulp-Cara Uji Bilangan Kappa*.

Proses Pemutihan Pulp

Pulp hasil perlakuan dengan xilanase selanjutnya diputihkan dengan khlordioksida dengan tahapan $D_0ED_1D_2$ (khlordioksida awal, ekstraksi alkali, khlordioksida-1, khlordioksida-2) pada kondisi pemutihan dapat dilihat pada Tabel 1. Pada pemutihan tahap D_0 , suspensi pulp yang sebelumnya sudah diketahui kadar air dan bilangan kappanya dimasukkan ke dalam plastik. Air klor dan NaClO_2 ditambahkan sesuai perhitungan ke dalam suspensi pulp dan diaduk hingga merata. Kemudian suspensi dimasukkan ke dalam penangas air pada temperatur dan waktu yang sudah ditentukan. Suspensi pulp dikeluarkan dari penangas air dan dicuci sampai benar-benar bersih dan netral. Setelah itu dilanjutkan dengan pemutihan tahap E (ekstraksi alkali).

Pada pemutihan tahap E, larutan NaOH yang telah ditentukan jumlahnya dicampur dengan suspensi pulp ke dalam plastik. Campuran harus benar-benar homogen kemudian dimasukkan ke dalam penangas air pada temperatur dan waktu yang telah ditentukan. Suspensi pulp dikeluarkan dan dicuci hingga bersih. Setelah itu dilanjutkan dengan tahap D_1 . Pada pemutihan tahap D_1 , suspensi pulp yang sudah diketahui kadar air dan bilangan kappanya dimasukkan ke dalam plastik. Air klor dan NaClO_2 ditambahkan sesuai perhitungan ke dalam suspensi pulp dan diaduk hingga merata. Proses selanjutnya sama dengan tahap D_0 dengan kondisi operasi seperti pada Tabel 1. Setelah tahap D_1 selesai dilanjutkan dengan tahap D_2 dengan metoda yang sama dengan tahap D_1 tetapi dengan dosis 0,5%.

Tabel 1. Kondisi Proses Pemutihan

Tahap Pemutihan	Bahan kimia	Dosis (%)	Waktu (menit)	Temperatur (°C)	Konsistensi (%)
D ₀	ClO ₂	0,22 KN sebagai klhor aktif	60	60	10
E	NaOH	1	60	70	10
D ₁	ClO ₂	1	180	75	10
D ₂	ClO ₂	0.5	180	75	10

Catatan : satuan % untuk dosis adalah %berat terhadap pulp belum putih

Analisa Sifat Optik dan Sifat Fisik Pulp

Parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kecerahan pulp putih yang dihasilkan adalah derajat putih pulp yang ditentukan berdasarkan SNI. 14-0438-1998, *Derajat putih (d/0°) Lembaran Pulp, Kertas dan Karton*. Untuk mengetahui tingkat kekotoran pada pulp putih telah dilakukan uji noda berdasarkan SNI 14-0697-1998, *Cara Uji Derajat Noda Pulp, Kertas dan Karton*.

Parameter untuk mengetahui kekuatan lembaran pulp putih adalah sifat fisik yang terdiri dari indeks sobek, indeks retak dan indeks tarik. Pengujian sifat fisik dilakukan pada *freeness* 300 mL CSF. Pengujian indeks sobek lembaran pulp ditentukan berdasarkan SNI. 0436-1989, *Cara Uji Ketahanan Sobek Kertas dan Karton*. Pengujian indeks retak berdasarkan SNI 14-0491-1998, *Cara Uji Ketahanan Retak Lembaran Pulp dan Kertas* dan pengujian indeks tarik berdasarkan SNI. 14-4737-1998 *Cara Uji Ketahanan Tarik, Daya Regang dan Daya Serap Energi (TEA) lembaran pulp, Kertas dan Karton (Metoda Kecepatan Elongasi Tetap)*.

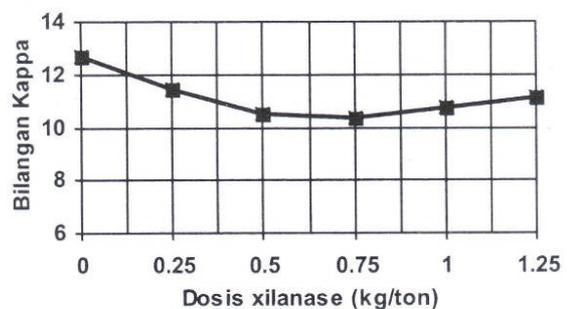
Penentuan Kadar Ekstraktif Pulp

Penentuan kadar ekstraktif dalam pulp putih dilakukan berdasarkan SNI. 14-7197-2006, *Cara Uji Kadar Ekstraktif Kayu dan Pulp dalam Diklorometana*. metoda DCM (*dichloromethane*). Ekstrak diklorometan adalah zat dalam kayu atau pulp yang terekstraksi oleh diklorometan sebagai pelarut, dilakukan pada titik didih pelarut dalam waktu tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh xilanase terhadap bilangan kappa

Bilangan kappa pulp setelah mengalami perlakuan xilanase mengalami penurunan seperti terlihat pada Gambar 2. Hal ini dapat terjadi karena fungsi xilanase dapat memecah ikatan xylose-xylose dalam rantai xilan sehingga mengakibatkan pecahnya ikatan antara sisa lignin dengan karbohidrat, dengan demikian bahan kimia pemutih akan lebih mudah bereaksi.



Gambar 2. Pengaruh xilanase terhadap bilangan kappa

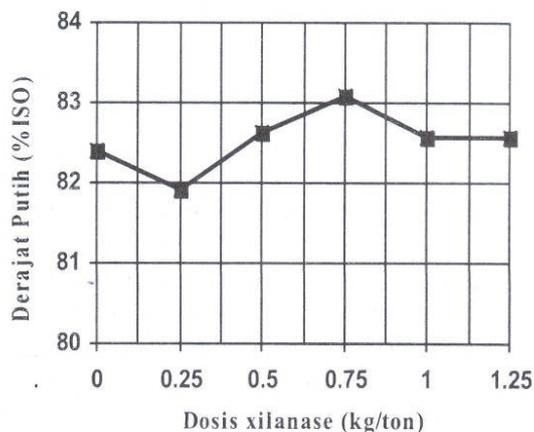
Bilangan kappa pulp kayudaun yang mudah diputihkan biasanya berkisar antara 13 – 15 (Mimms, 1993). Pada penelitian ini bilangan kappa tanpa penambahan xilanase adalah 12,66, sedangkan dengan xilanase berkisar antara 10,33 – 11,45, bilangan kappa mengalami penurunan yang drastis sampai dengan dosis penambahan xilanase sebesar 0.75 kg/ton, selanjutnya bilangan kappa tersebut mengalami kenaikan lagi

Pada dosis xilanase sebesar 0,75 kg/ton didapat bilangan kappa 10,33. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tolan and Canovas (1992) terhadap pulp kayujarum (*softwood*), bilangan kappa hanya turun rata-rata sebesar 0,5 poin. Sedangkan pada penelitian terhadap pulp *Acacia mangium* ini yang tergolong kayudaun (*hardwood*) didapat penurunan bilangan kappa 1,21 – 2,33 poin.

Tabel 2. Pengaruh xilanase terhadap konsumsi khlordioksida pada tahap D₀

No.	Dosis xilanase (kg/ton pulp)	Bilangan Kappa	Konsumsi ClO ₂ pada tahap D ₀ (%)
1.	blanko	12,66	2,78
2.	0,25	11,45	2,52
3.	0,5	10,50	2,31
4.	0,75	10,33	2,27
5.	1,00	10,71	2,36
6.	1,25	11,09	2,44

Dengan terjadinya penurunan bilangan kappa maka penggunaan khlordioksida sebagai khlor aktif pada tahap khlordioksida awal akan berkurang, dosis penambahan khlordioksida sebagai khlor aktif dihitung dengan persamaan $0,22 \times$ bilangan kappa seperti pada Tabel 2 (Kocurek, 1989., Singh, 1991). Efisiensi proses pemutihan tahap D₀ dapat diukur dari konsumsi ClO₂ yang turun, tanpa xilanase konsumsi ClO₂ adalah 27,8 kg/ton pulp, jika menggunakan xilanase konsumsi ClO₂ akan lebih hemat menjadi 22,7 – 25,2 kg/ton.

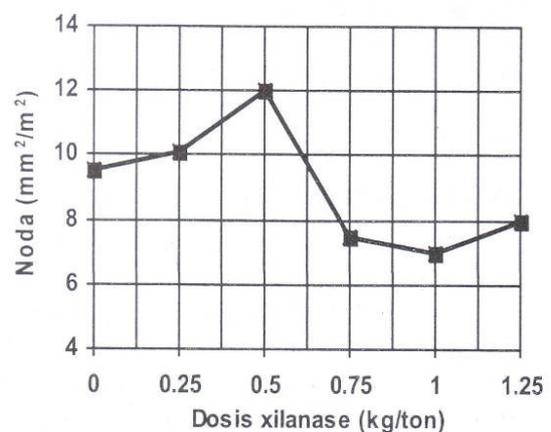


Gambar 3. Pengaruh xilanase terhadap derajat putih pulp

Pengaruh xilanase terhadap derajat putih dan noda

Pengaruh xilanase pada perlakuan awal pemutihan terhadap derajat putih pulp dapat dilihat pada Gambar 3. Xilanase selain berfungsi untuk menurunkan bilangan kappa juga dapat meningkatkan *bleachability* pulp. Dari Gambar 3 didapat peningkatan derajat putih tertinggi sebesar 0,84 % dari perlakuan awal xilanase sebesar 0,75 kg/ton. Pengaruh xilanase tidak menghasilkan pulp putih secerah pulp berdasarkan SNI 14-6107-99 revisi (Spesifikasi Pulp Kraft Putih Kayudaun), yaitu minimal 86 %ISO. Kocurek (1989) menyarankan untuk menambah tingkat kecerahan ditambahkan oksigen dan hidrogen peroksida pada tahap ekstraksi.

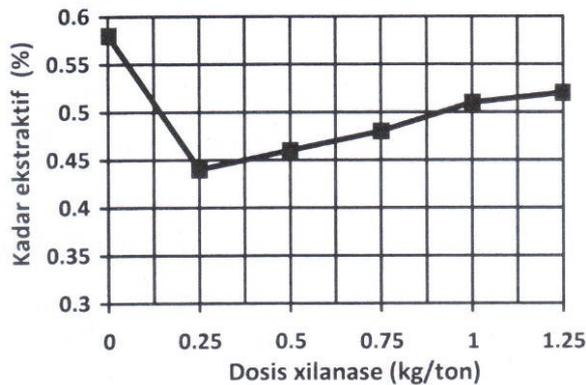
Pengaruh xilanase pada perlakuan awal pemutihan terhadap noda pada lembaran pulp putih dapat dilihat pada Gambar 4. Secara umum dengan adanya perlakuan xilanase terjadi penurunan noda pada lembaran pulp. Tanpa penambahan xilanase didapat noda sebesar 9,5 mm²/m² dan akan turun pada penambahan xilanase sebesar 0,75 – 1,25 kg/ton, yaitu 7 – 8 mm²/m². Persentase penurunan noda tertinggi didapat pada perlakuan xilanase sebesar 1,00 kg/ton dengan nilai persentase penurunan sebesar 26,31 %. Noda yang dihasilkan masih lebih tinggi dari persyaratan dalam SNI 14-6107-99 revisi, yaitu maksimal 6 mm²/m². Noda dapat diturunkan dengan membersihkan suspensi pulp dalam *centrifugal cleaner* yang terdapat pada skala komersial (Kocurek, 1989).



Gambar 4. Pengaruh xilanase terhadap noda pada lembaran pulp

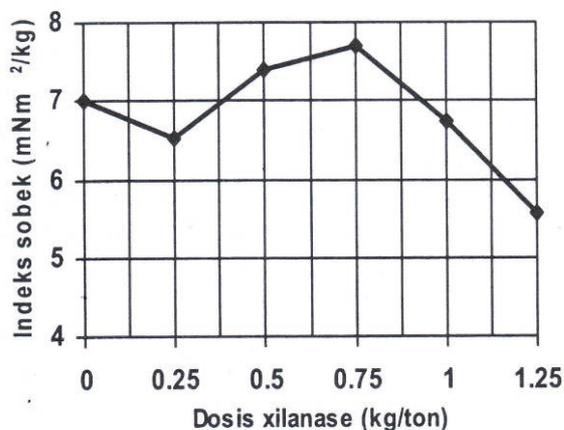
Pengaruh xilanase terhadap kadar ekstraktif pulp putih

Pengaruh xilanase pada perlakuan awal pemutihan terhadap kadar ekstraktif pada pulp putih dapat dilihat pada Gambar 5. Secara keseluruhan, adanya perlakuan xilanase dapat menurunkan kadar ekstraktif. Tanpa perlakuan xilanase didapat kadar ekstraktif 0,58 %, sedangkan dengan perlakuan xilanase didapat kadar ekstraktif sebesar 0,44 – 0,52%.



Gambar 5. Pengaruh xilanase terhadap kadar ekstraktif DCM pada pulp putih

Penurunan persentase tertinggi didapat dengan perlakuan xilanase sebesar 0,25 kg/ton dengan nilai penurunan sebesar 24,14 %, sedangkan persentase penurunan terendah sebesar 12,06 % yaitu dengan perlakuan xilanase sebesar 1,00 kg/ton. Penambahan xilanase yang lebih besar diperoleh pada kadar ekstraktif yang lebih besar pula, hal ini mungkin disebabkan pada dosis yang lebih besar dari 0,25 kg/ton terjadi peningkatan

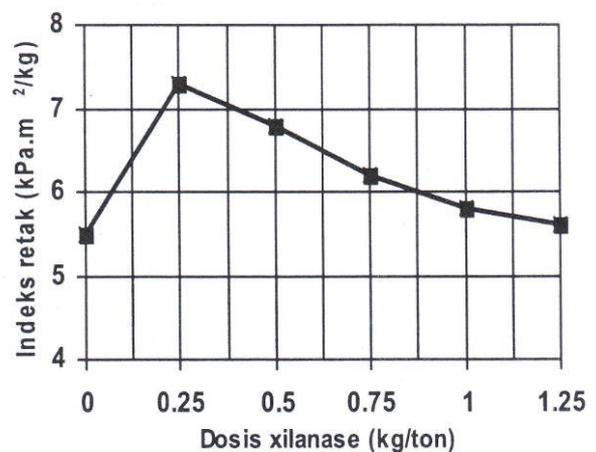


Gambar 6. Pengaruh xilanase terhadap indeks sobek lembaran pulp putih

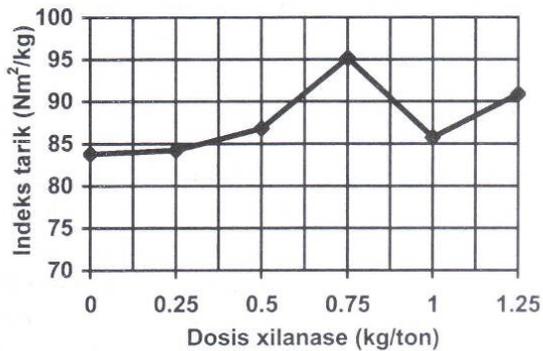
tegangan permukaan antara serat dan ekstraktif sehingga ekstraktif sulit dihilangkan. Kadar ekstraktif pulp putih masih dibawah persyaratan yang tercantum dalam SNI 14-6107-99 revisi, yaitu maksimal 0,35%. Untuk menurunkan ekstraktif dapat dibantu dengan menambahkan surfaktan pada proses pemasakan dalam digester. Kadar ekstraktif merupakan parameter kualitas pulp putih yang sangat penting. Kadar ekstraktif yang tinggi dalam pulp akan menyebabkan masalah pitch pada operasi pencucian dan penyaringan pulp dan pada pembuatan kertas. Xilanase dalam fungsinya sebagai fasilitator proses pemutihan akan memudahkan masuknya bahan kimia pemutih ke dalam struktur serat.

Pengaruh xilanase terhadap sifat fisik lembaran pulp

Pengaruh xilanase pada perlakuan awal pemutihan terhadap kekuatan lembaran pulp putih dapat dilihat pada Gambar 6, 7 dan 8. Persentase kenaikan tertinggi untuk nilai indeks sobek dan indeks tarik didapat pada penambahan xilanase dengan dosis 0,75 kg/ton yaitu dengan persentase kenaikan masing-masing sebesar 10% untuk indeks sobek dan 12% untuk indeks tarik. Sedangkan untuk indeks retak, persentase kenaikan tertinggi didapat dari penambahan xilanase dengan dosis 0,25 kg/ton yaitu sebesar 24,65 %.



Gambar 7. Pengaruh xilanase terhadap indeks retak lembaran pulp putih



Gambar 8. Pengaruh xilanase terhadap indeks tarik pulp putih

Jika dibandingkan terhadap blanko, nilai indeks sobek, retak dan tarik cenderung lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa xilanase dapat meningkatkan selektifitas pemutihan, reaksi delignifikasi lebih dominan dibanding dengan reaksi karbohidrat. Selektifitas yang tinggi dalam proses pemutihan akan menyebabkan sedikit degradasi karbohidrat sehingga kekuatan fisik pulp akan meningkat. Nilai indeks retak dan indeks tarik lebih tinggi dari persyaratan yang tercantum dalam SNI 14-6107-99 revisi, yaitu minimal 3 kPa.m²/g dan 40 Nm/g, sedangkan untuk indeks sobek (dalam SNI minimal 7 mN m²/g) yang memenuhi persyaratan adalah dosis xilanase 0,5 dan 0,75 kg/ton pulp.

KESIMPULAN

- Keberhasilan dari penggunaan xilanase pada perlakuan awal pemutihan adalah dapat mengurangi pemakaian khlor dan khlordioksida pada proses pemutihan. Bilangan kappa optimum didapat pada penambahan xilanase sebesar 0.75 kg/ton, yaitu 10,33.
- Xylanase dapat meningkatkan derajat putih pulp dan menurunkan noda. Derajat putih tertinggi sebesar 83,10 %ISO diperoleh dengan perlakuan xylanase sebesar 0,75 kg/ton. Persentase penurunan noda tertinggi didapat pada perlakuan xylanase sebesar 1,00 kg/ton dengan nilai persentase penurunan sebesar 26.31 %.
- Xylanase dapat menurunkan kadar ekstraktif. Penurunan tertinggi didapat dengan perlakuan xylanase sebesar 0,25 kg/ton dengan nilai penurunan sebesar 24,14 %.

- Xilanase dapat meningkatkan selektifitas pemutihan dimana reaksi delignifikasi lebih dominan dibandingkan dan reaksi karbohidrat sehingga kekuatan fisik bisa meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajpai, P., 1996. *Application of Enzymes in the Pulp and Paper Industry*, Biotechnol. Prog., 15, 147-157.
- Bajpai, P., P. K. Bajpai., 1996. Application of Xylanase in Prebleaching of Bamboos Kraft Pulp, *Tappi Journal*, Vol. 79 No. 4, 255-230.
- Dence, C.W., and D. W. Reeve, 1996. *Pulp Bleaching : Principle and Practice*, Tappi Press, Atlanta.
- Deneault, C., C. Leduc., J. L. Valade., 1994. The Use of Xylanase in Kraft Pulp Bleaching : A Review, *Tappi Journal*, Vol. 77 No. 6, 125-131.
- Jeffries, Thomas W., Viikari, L., 1996. *Enzymes for Pulp and Paper Processing*, American Chemical Society, Washington DC.
- Jameel, H., 1993. *Bleaching : A TAPPI PRESS Anthology of Published Papers 1991-1992*, Tappi Press, Atlanta.
- Kocurek, M.J., 1989. *Pulp and Paper Manufacture, Vol. 5: Alkaline Pulping*, Joint Textbook Committee of The Paper Industry, Atlanta.
- Mimms, A., 1993. *Kraft Pulping : A Compilation of Notes*, Tappi Press, Atlanta.
- Singh, Rudra P., 1991. *The Bleaching of Pulp*, Tappi Press, Atlanta.
- Suurnaki, et. Al., 1983. Reduction in Chlorine Use During Bleaching of Kraft Pulp Following Xylanase Treatment, *Tappi journal*, Vol. 75 No. 11.
- Tolan, J. S., R. V. Canovas., 1992. The Use of Enzymes to Decrease the Cl₂ Requirements in Pulp Bleaching, *Pulp and Paper Canada*, Vol. 93 No. 5, 39-42.
- Yang, J.L., Gu Lou., K.E.L. Eriksson., 1992. The Impact of Xylanase on Bleaching of Kraft Pulp, *Tappi Journal*, Vol. 75 No. 12, 95-101.