

OPTIMASI PROSES PEMUTIHAN ACACIA KRAFT PULP DENGAN PROSES BIOBLEACHING SEBELUM CHEMICAL BLEACHING UNTUK MENGURANGI PEMAKAIAN BAHAN KIMIA

Amrizal¹, Adrianto Ahmad¹ dan Bahruddin¹

¹Progam Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru, 28293,Indonesia

E-mail: amrizalabdullah@yahoo.com

ABSTRAK

Proses pemutihan *pulp* dengan enzim (*Biobleaching*) sebelum pemutihan dengan bahan kimia membantu menurunkan konsumsi bahan kimia pemutih (ClO_2). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum proses *biobleaching* terhadap kenaikan derajat kecerahan *pulp*, pengaruhnya terhadap konsumsi ClO_2 dan kualitas *pulp* serta dampaknya terhadap lingkungan. Sampel *kraft pulp*, terbuat dari campuran kayu *acacia mangium*, *acacia crassicarpa* dan *eucalyptus*. Enzim yang digunakan *xylanase* dengan aktivitas enzim sebesar 5000 IU/ml. Variabel proses terdiri dari waktu (X_1), suhu (X_2), pH (X_3), dan dosis enzim (X_4). Optimasi dilakukan pada berbagai variasi waktu (30, 60, 120, 180) menit, suhu (60, 70) °C, pH (4, 5, 6, 7, 8), dan dosis (0,2, 0,5, 1,0) kg/ton *pulp* dimana biaya enzim dan bahan kimia sebagai faktor kendala. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH dan dosis enzim merupakan faktor signifikan yang berpengaruh terhadap kenaikan derajat kecerahan *pulp*. Hubungan antara kenaikan derajat kecerahan (Y) terhadap pH dan dosis enzim ditunjukkan dengan persamaan $Y = 0,792 + 0,576X_3 + 0,688X_4$. Kondisi optimum *biobleaching* diperoleh pada pH 8 dan dosis enzim 0,142 kg/Ton *pulp* dimana kenaikan derajat kecerahan adalah sebesar 5,5%. Konsumsi ClO_2 turun 15,2% dan kadar AOX turun 30% dibandingkan proses tanpa enzim. Kekuatan tarik *pulp* menunjukkan kenaikan dari 64,2 N/m² menjadi 65,2 N/m².

Kata kunci : AOX, *biobleaching*, derajat kecerahan, enzim *xylanase*, *pulp*

ABSTRACT

Implementing the Enzyme Pretreatment before the Chemical Bleaching process is an alternative way to reduce the ClO_2 chemical consumption. This study was conducted in order to determine the optimum process conditions to increase the pulp brightness. After the *Biobleaching* treatment, it was observed that the ClO_2 chemical consumption decreases for the subsequent Chemical Bleaching. In addition, both the pulp quality and environment parameters (e.g. AOX) were also improved. The pulp sample used for this research was obtained from the Kraft Cooking Process. The pulp sample is a mixture of the *acacia mangium*, *acacia crassicarpa* and *eucalyptus* wood species. The *biobleaching* parameters consist of time (X_1), temperature (X_2), pH (X_3) and enzyme dosage (X_4). The optimization was performed at various pH (4, 6, 7, 8), reaction time (30, 60, 120, 180 minutes), temperature (60, 70 °C) and enzyme dosage (0.2, 0.5 and 1.0 kg / ton pulp) whose enzyme activity is 5000 IU / mL. According to the performed data analysis, pH and enzyme dosage were shown to be the significant factors to raise the pulp brightness. The correlation between the brightness increment (Y), pH and enzyme dosage is described as $Y = 0.792 + 0.576 X_3 + 0.688 X_4$. The optimum condition was found to be at pH 8 and enzyme dosage of 0.142 kg / ton pulp which gave the brightness increment of 5.5%. As a result, ClO_2 consumption was decreased by 15.2% and the AOX was reduced up to 30%. Furthermore, the pulp's tensile strength increased from 64.2 to 65.2.

Keywords : AOX, *biobleaching*, brightness, enzyme *xylanase*, *pulp*

PENDAHULUAN

Pada tahun 2015 kapasitas industri *pulp* di Indonesia adalah 7,9 juta ton/tahun dan industri kertas sebesar 13,9 juta ton/tahun (APKI, 2016). *Pulp* merupakan bahan baku pembuatan kertas yang mengandung selulosa dan hemiselulosa yang berasal dari kayu. Kayu terbentuk dari senyawa selulosa, hemiselulosa, lignin, serta zat lainnya. Selulosa merupakan komponen utama dari sel kayu, mengandung sekitar 35-50% dari berat kering tanaman (Saha, 2004). Selulosa dan hemiselulosa merupakan bahan serat polisakarida rantai panjang yang terbentuk dari gula seperti glukosa.

Lignin berfungsi sebagai bahan pengikat antara serat selulosa dan hemiselulosa membentuk batang, dahan dan daun, sehingga bisa berdiri tegak dan kokoh (Sjostrom, 1995). *Xylan* merupakan komponen penyusun hemiselulosa yang bersifat *amorf* (tidak kristal) sehingga lebih mudah diputuskan (dihidrolisis) oleh enzim *Xylanase* (Tolan, 1992). Rantai hemiselulosa lebih mudah dipecah menjadi komponen gula penyusunnya dengan proses enzimatik, dibandingkan dengan cara ekstraksi atau hidrolisa menggunakan larutan alkali atau larutan asam lemah. (Sjostrom, 1995). *Xylanase* dihasilkan oleh mikroorganisme seperti *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Trichoderma sp.*. Enzim *Xylanase* dan sejenisnya membantu mengurangi lignin dan meningkatkan kandungan selulosa alfa pada proses *bleaching* (Viikari, *et al.*, 1994).

Proses pembuatan pulp umumnya menggunakan proses sulfat (kraft) dengan bahan baku kayu (*chips*) yang dimasak dengan larutan yang mengandung NaOH dan Na₂S (*white liquor*) untuk memisahkan lignin dari serat selulosa dan hemiselulosa. Pulp yang dihasilkan dari *Digester* berwarna coklat karena masih mengandung sisa lignin, selanjutnya dipisahkan dengan proses Oksigen Delignifikasi (ODL) dan *chemical bleaching* untuk mencapai *brightness* ketinggian yang diinginkan. Penggunaan senyawa klorin pada *Chemical Bleaching* dapat menghasilkan limbah cair yang mengandung *chlorinated organic compounds* (AOX) dan berbahaya terhadap lingkungan (Biermann, 1993). AOX dapat terakumulasi pada tubuh ikan, dan meningkatkan resiko apabila dikonsumsi manusia. Pemakaian ClO₂ yang berlebih juga dapat mengurangi kekuatan pulp.

Enzyme Pretreatment (Biobleaching) merupakan salah satu metode pemutihan *pulp* yang lebih

ramah lingkungan. Proses *biobleaching* menggunakan enzim dari mikroba seperti *Xylanase* yang mampu menghidrolisis *xylan* dari hemiselulosa dan lignin sehingga selulosa terbebas dari lignoselulosa (Tsujibo, *et al.*, 1992). Hal ini menyebabkan pemakaian bahan seperti ClO₂ berkurang sehingga dampak AOX dan *chlorinated dioxin* menurun (Jean, *et al.*, 1994).

Aktivitas enzim pada reaksi *biobleaching* dipengaruhi oleh waktu, suhu, volume enzim dan pH. Waktu reaksi yang terlalu lama, dapat mengakibatkan kerusakan rantai selulosa (Tolan, 1992) Laju reaksi suatu proses biokimia akan meningkat dengan kenaikan suhu karena meningkatkannya energi kinetik antar molekul (Jacobsen, 2000).

Penambahan volume enzim akan meningkat jumlah aktivitas yang bereaksi dengan substrat. Enzim mengalami penurunan aktivitas pada saat pH diatas maupun dibawah pH optimum. Pada pH yang lebih rendah kadar ion H⁺ akan meningkat (protonisasi), menyebabkan kompleks enzim substrat tidak terbentuk. (Wirahadikusumah, 1989). Pada pH yang lebih tinggi enzim kelebihan ion OH⁻ (deprotonasi) yang dapat mengganggu reaksi enzimatik karena ion OH⁻ akan bereaksi dengan substrat.

BAHAN DAN METODE

Pulp yang digunakan berasal dari proses O₂ Delignifikasi dan enzim cair berasal dari *Supplier*. Peralatan utama yang digunakan adalah *Water Bath* sebagai alat pemanas dan wadah sampel (*zip lock plastic bag*) serta alat ukur seperti *brightness meter*. Metode yang digunakan adalah eksperimental laboratorium. Pada tahap persiapan dilakukan analisa komposisi *pulp* dan analisa kualitas seperti *brightness* sebagai data primer. Selanjutnya dilakukan pemutihan *pulp* dengan *biobleaching* dan *chemical bleaching*. Untuk mengetahui hubungan antara berbagai variabel terhadap kenaikan *brightness* pada proses *biobleaching* digunakan metoda Analisis Regresi Linier Berganda dan Analisis Determinasi R². Sedangkan untuk menentukan kondisi optimum proses dilakukan optimasi menggunakan metode *Golden Section* dengan program *Solver*.

Pulp dari *biobleaching* selanjutnya diputihkan dengan bahan kimia untuk mengetahui kebutuhan bahan dan kualitas *pulp* yang dihasilkan, dibandingkan dengan proses tanpa enzim. Tahap pemutihan terdiri dari Do-E-D1, dimana klorinasi (D) menggunakan ClO₂, dan ekstraksi (E) dengan

larutan NaOH. Kondisi operasi pada masing-masing tahap sebagai berikut:

Tabel 1. Kondisi operasi *chemical bleaching*

Tahap	Do	E	D1
Suhu, °C	70	70	70
Waktu, menit	60	180	120
pH	3	11	3

Pemutihan dilakukan dalam wadah plastik dengan *pulp* konsistensi 5%, lalu ditambah ClO₂ dan dipanaskan di dalam *water bath*. Setelah pencucian dilakukan analisa kualitas *pulp*, kandungan AOX dan COD pada filtrat. Pemakaian bahan kimia sesuai kadar lignin dan target *brightness*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Korelasi Proses *Biobleaching*

Kenaikkan derajat kecerahan (*brightness*) pada proses pemutihan *pulp* dengan enzim (*biobleaching*) pada penelitian ini dipengaruhi oleh kondisi pH, suhu, dan waktu reaksi dan dosis enzim. Untuk mengetahui hubungan antara kondisi proses terhadap kenaikan *brightness* digunakan metoda Analisis Determinasi R Square (R²) dan Analisis Regresi Linier Berganda menggunakan *software* SPSS. Koefisien R² dipakai untuk mengukur seberapa besar pengaruh keanggotaan variabel bebas (X) memprediksi variabel terikat (Y).

Dari hasil pengolahan data diperoleh nilai R² = 58,3%. Hal ini menunjukkan bahwa waktu, suhu, pH dan dosis enzim secara bersama-sama memberi pengaruh terhadap kenaikan *brightness pulp* sebesar 58,3%. Sedangkan sisanya dipengaruhi oleh hal lain yang tidak dimasukkan dalam penelitian ini seperti pengaruh pembentukan inhibitor pada reaksi enzimatik.

Selanjutnya untuk mengetahui apakah variabel independen tersebut secara bersama sama berpengaruh signifikan terhadap kenaikan *brightness* dilakukan Uji F

Rumusan Hipotesis :

- Ho : Variabel waktu, suhu, pH dan dosis enzim secara bersama-sama tidak berpengaruh terhadap kenaikan *brightness*.
- Ha : Variabel waktu, suhu, pH dan dosis enzim secara bersama-sama berpengaruh terhadap kenaikan *brightness*.

Apabila ditentukan tingkat signifikansi 5% dimana F tabel (0.05) = 2,47 dan hasil uji F (hitung) adalah 31.84 > F Tabel (0.05) = 2.47 maka Ho ditolak dan Ha diterima. Berarti variabel waktu, suhu, pH dan dosis enzim secara bersama-sama berpengaruh sangat signifikan terhadap kenaikan *brightness*.

Untuk mengetahui korelasi antar variabel proses *biobleaching* terhadap kenaikan *brightness* digunakan metoda Analisis Regresi Linier Berganda, dengan persamaan berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 \quad (1)$$

Dimana

- Y = kenaikan *brightness pulp*
- X₁ = Waktu (menit)
- X₂ = Suhu (°C)
- X₃ = pH
- X₄ = dosis enzim (g/kg *pulp*)
- a = konstanta
- b = koefisien regresi

Tujuan dari regresi ini adalah untuk memprediksi pengaruh variabel independen X terhadap Y. Hasil pengolahan data menggunakan *software* SPSS diperoleh data model regresi sebagai berikut:

Tabel 1. Data analisis regresi linier

Model	Koef.	Sig.(P)	T
Konstanta	0,792	0,426	0,800
Waktu	-0,001	0,758	-0,309
Suhu	-0,003	0,849	-0,191
pH	0,576	0,000	10,114
Dosis enzim	0,688	0,002	3,255

Untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel terhadap kenaikan *brightness* (Y) dilakukan uji koefisien regresi secara parsial (uji T). Apabila ditentukan tingkat signifikansi 5% dimana T tabel (0.05) = 1,9864 maka :

- X₁, X₂ : T hitung < T tabel (tidak berpengaruh)
- X₃, X₄ : T hitung > T tabel (berpengaruh)

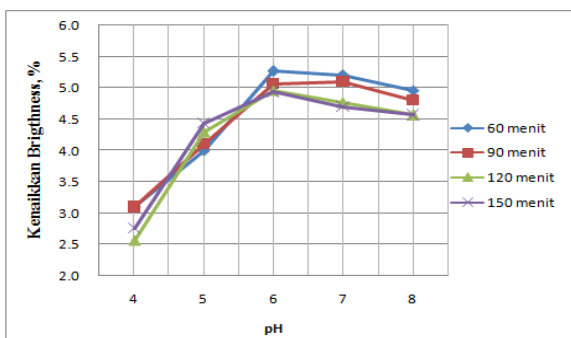
Selain itu dari pengujian masing-masing parameter terlihat bahwa X₃ (pH) dan X₄ (dosis enzim) mempunyai nilai-P yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa X₃ dan X₄ merupakan faktor yang sangat signifikan berpengaruh terhadap kenaikan *brightness pulp* (Sugiyono, 2007). Sehingga berdasarkan kedua pengujian tersebut diperoleh model hubungan antara variabel bebas

dengan kenaikan derajat kecerahan (*brightness*) *pulp* menjadi:

$$Y = 0.792 + 0.576X_3 + 0.688X_4 \quad (2)$$

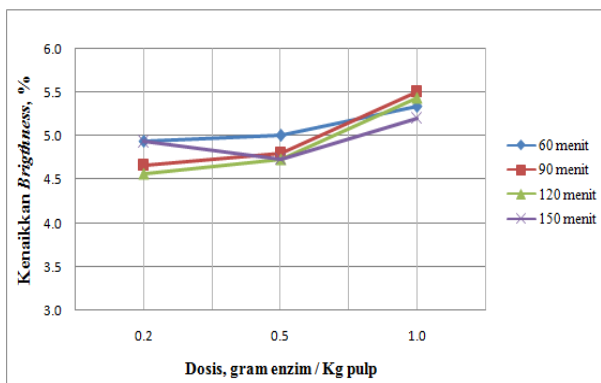
Dari persamaan diatas diprediksikan bahwa setiap kenaikan masing-masing satu satuan pH dan dosis enzim pada proses *biobleaching* akan menaikkan *brightness* sebesar 2.1 %.

Pada pembahasan berikut ini ditampilkan grafik pengaruh pH dan waktu terhadap kenaikan derajat kecerahan (*brightness*), seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Pengaruh pH dan waktu terhadap kenaikan *brightness*.

Berdasarkan grafik pada Gambar 1 di atas diketahui bahwa kenaikan derajat kecerahan tertinggi adalah sekitar 5% terjadi pada pH 6-8 atau pada kondisi pH relatif netral. Hal ini disebabkan pada pH tinggi ion OH⁻ cenderung bertambah (protonisasi), dimana pada kondisi ini enzim xilanase sulit bereaksi dengan subtrak dan produk yang diharapkan sulit terbentuk. Sebaliknya pada industri *kraft pulp* kondisi pH setelah Oksigen Delignifikasi adalah pH 11. Untuk menurunkan pH tersebut dibutuhkan biaya peralatan dan penambahan asam (H₂SO₄).



Gambar 2. Grafik pengaruh dosis dan suhu terhadap kenaikan *brightness*

Pada Gambar 2 terlihat bahwa pada dosis 0,2 g enzim / kg *pulp* kenaikan *brightness* adalah sebesar 4,5-5,0%. Penambahan dosis enzim yang lebih tinggi yakni 0,5-1,0 g / kg *pulp* tidak memberikan kenaikan *brightness* yang signifikan. Berdasarkan fakta diatas seharusnya dosis enzim yang digunakan pada proses *biobleaching* ini tidak melebihi 0,2 g / kg *pulp*. Selain itu penambahan waktu reaksi dari 60 menit ke 90, 120, dan 150 menit relatif tidak signifikan mempengaruhi kenaikan *brightness*, sehingga reaksi dapat dihentikan setelah mencapai waktu 60 menit. Hal ini bisa disebabkan oleh konsentrasi *xylan* (subtrak) sudah habis atau karena penurunan aktivitas enzim akibat terbentuknya *xylosa* yang dapat menjadi *inhibitor* pada proses *biobleaching*.

Optimasi Proses *Biobleaching*

Berdasarkan hasil analisa data diatas maka untuk mendapatkan nilai kondisi optimum pada proses *biobleaching* dilakukan optimasi dengan faktor kendala (*Constrained Factor*) biaya enzim dan biaya asam sulfat (bahan pengatur pH). Biaya yang dikeluarkan pada proses *biobleaching* harus lebih kecil atau sama dengan nilai ekonomi penghematan biaya bahan pemutih ClO₂.

Pada proses pemutihan pulp tanpa enzim, ClO₂ yang dibutuhkan adalah sebanyak 15,0 kg/ton *pulp* (sumber data: RAPP, 2016) dan dengan adanya proses *pretreatment* (*biobleaching*) ditargetkan terjadi penurunan 3,0 kg ClO₂/ton *pulp*. Apabila harga ClO₂ adalah sebesar Rp 7.500/kg (sumber data: RAPP, 2016), maka jumlah biaya ClO₂ yang dihemat adalah sebesar Rp 22.500/ton *pulp* produksi. Apabila pH *pulp* dari proses oksigen delignifikasi adalah pH 11 dan untuk menurunkan satu satuan pH dibutuhkan 0,7 kg/ton pulp dimana harga Asam Sulfat 98% adalah Rp 1.800/kg maka biaya yang dibutuhkan adalah :

$$P = 1350(11 - X_3) + 130000X_4 \quad (3)$$

Fungsi Objektif (maksimisasi) adalah kenaikan *brightness* ($Y \geq 0$), dari persamaan 1 diperoleh :

$$0,792 + 0,576X_3 + 0,688X_4 \geq 0 \quad (4)$$

Faktor kendala (*constrains factor*) :

1. Biaya, $P \leq 22.500/\text{ton}$, maka dari pers.3 didapat

$$1350*(11 - X_3) + 130000X_4 \leq 22.5000 \quad (5)$$

2. pH optimum adalah pada pH 6-8

$$6 \leq X_3 \leq 8 \quad (6)$$

Optimasi dilakukan dengan interasi *Newton* memakai aplikasi *Solver* pada *Microsoft Excel*. Dari hasil pengolahan data diperoleh nilai optimum proses terjadi pada pH 8 dan dosis enzim 0,142 kg/ton *pulp* produksi dengan kenaikan *brightness* 5,5%.

Hasil penelitian *biobleaching* dengan enzim *xylanase* dari *B. pumilus SV-85s* diperoleh kondisi terbaik adalah pada pH 9.0 pada dosis enzim dosis 10 IU / g *pulp*, waktu retensi 120 menit, dan suhu 50 °C menunjukkan jumlah penurunan *kappa* terendah dan kecerahan maksimum (Nagar,2012). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Borges (2010) diketahui bahwa dosis enzim 0,2 g/t dan pH 7 adalah kondisi yang paling efektif untuk menurunkan lignin (bilangan *Kappa*) dan menaikkan *brightness*.

Kondisi operasi dan dosis enzim pada proses *biobleaching* dipengaruhi juga jumlah *xylan* yang mengendap pada permukaan permukaan lignin sehingga makin banyak dosis enzim yang dibutuhkan. *Xylan* lebih mudah mengendap pada pH rendah dibandingkan pH tinggi. Pengendapan *xylan* dapat disebabkan oleh penurunan pH pada *pulp* setelah proses Oksigen delignifikasi. Selain itu kondisi operasi *biobleaching* dipengaruhi oleh sumber bahan baku enzim dan bahan baku serat pembuatan *pulp* yang digunakan. *Pulp* yang berasal dari bahan kayu (pinus, acacia) struktur kimia yang kompleks dibandingkan *pulp* yang berasal dari non kayu (jerami, ampas tebu).

Chemical Bleaching

Proses pemutihan pulp dengan bahan kimia ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses *biobleaching* terhadap penurunan pemakaian ClO_2 dan dampaknya terhadap lingkungan serta mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas produk seperti data hasil berikut ini.

Tabel 4. Konsumsi ClO_2 dan kualitas filtrat pada proses *chemical bleaching*

	ClO_2	Filtrat, mg/l	
	Kg/T	AOX	COD
Non Enzim	14,4	3,8	1230
Enzim	12,2	1,2	1281

Hasil penelitian seperti Tabel 4 di atas menunjukkan bahwa proses pemutihan *pulp* dengan *biobleaching* sebelum *Chemical Bleaching*, mampu menurunkan konsumsi ClO_2 sebesar 15,1% dibandingkan dengan pemutihan tanpa enzim. Pada penelitian yang dilakukan Nagar (2012) pada sampel kraft *pulp* dengan tahap CD-E-D₁-D₂,

terjadi penurunan ClO_2 sebanyak 29,16%. Pengurangan konsumsi ClO_2 memberi pengaruh terhadap penurunan nilai senyawa organik terklorinasi (AOX) pada filtrate dari 3.8 mg/l menjadi 1,4 mg/l (63%), sehingga dapat mengurangi dampak terhadap lingkungan. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Agnihotril (2012), terjadi pengurangan adalah sebesar 28,2%. Pada proses *chemical bleaching* dengan enzim *pretreatment*, ClO_2 lebih reaktif karena struktur lignin sudah mengalami proses destrukturisasi sehingga mudah bereaksi dengan ClO_2 dan jumlah yang dibutuhkan lebih sedikit sehingga kadar AOX pada limbah cair berkurang

Tabel 5. Viskositas dan kekuatan *pulp* setelah pemutihan

Parameter	Non Enzim	Enzim
Viskositas, cP	8.5	9.2
<i>Tensile Strength</i> , N/m ²	64.2	65.2

Hasil pengujian viskositas dan kekuatan *pulp* pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pada proses pemutihan dengan *biobleaching* menghasilkan viskositas *pulp* sebesar 9.2 cP dan kekuatan *pulp* 65.2 N/m². Hal ini lebih tinggi dari pemutihan tanpa proses enzim. Sedangkan penelitian yang dilakukan Agnihotril (2012) meningkatkan kekuatan *pulp* sebesar 1.0 N/m² dan viskositas sebesar 2.57 %. Kekuatan *pulp* sangat dipengaruhi oleh tingkat kerusakan serat *pulp*. Makin tinggi viskositas makin tinggi kekuatan *pulp*. Viskositas pulp dipengaruhi oleh panjang rantai polimer, dimana makin tinggi viskositas maka makin tinggi kekuatan *pulp*. ClO_2 merupakan senyawa yang sangat reaktif, pada penggunaan ClO_2 yang tinggi, residu klorin dapat bereaksi dengan selulosa dan memutuskan rantai polimer sehingga kekuatan *pulp* menurun.

KESIMPULAN

Pada proses *biobleaching*, dosis enzim dan pH merupakan faktor yang sangat signifikan berpengaruh terhadap kenaikan derajat kecerahan *pulp* dimana kondisi optimum terjadi pada pH 8 dan dosis enzim 0,145 g/kg pulp. Dengan adanya proses *biobleaching* sebelum *Chemical Bleaching* menunjukkan terjadi penurunan konsumsi ClO_2 sebesar 15,1% , AOX pada filtrate sebesar 63% dan kenaikan kekuatan tarik dari 64,2 menjadi 65,2 N/m² dibandingkan dengan pemutihan tanpa proses enzim.

Ucapan Terimakasih.

Terimakasih disampaikan kepada Program Magister Teknik Kimia Universitas Riau yang telah memberikan bimbingan dan saran pada penelitian ini dan kepada Manajemen PT.RAPP yang memberi fasilitas tempat dan peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agnihotri S., Dutt D., Kumar A., 2012, *Effect of Xylanases from Disseminatus SW-1 NTCC on Pulp Effluent Characteristics during CEHH Bleaching Soda-AQ Baggase pulp*, Dept of Che Eng. I.I.I Roorkee, India.
- Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia (APKI), 2017, *Kapasitas Produksi Kertas dan Pulp Naik di 2017* <http://industri.kontan.co.id/news/kapasitas-produksi-kertas-dan-pulp-naik-di-2017>
- Biermann, C. J., 1996, *Essentials of Pulping and Papermaking, Handbook of pulping and papermaking*, Academic Press, Inc San Diego.
- Chittaranjan K., Chandrashekhar P. J., and David R. S., 2012, *Handbook of Bioenergy Crop Plants*, CRC Press.
- Dence, C. W., and Reeve, D. W., 1996, *Chemistry of chemical Pulp bleaching, Principles and practice*, TAPPI Press, Atlanta.
- Jacobsen, S.E., and Wyman, C.E., 2000, Cellulose and hemicellulose hydrolysis models for application to current and novel pretreatment processes. *Application Biochem. Biotechnol.* 84–86, 81.
- Jean. P., Hamilton, J. and Senior, D.J., 1994, Mill Trial Experiences with Xylanase: *AOX and Chemical Reductions*, Pulp and Paper Canada, 25(12).
- Lehninger, A.L., 1982, *Principles of Biochemistry*, Jilid I. Terjemahan Thenewidjaja, M. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Levenspiel, O., 1999, *Chemical Reaction Engineering*, edisi ke 3, hal.170-194, Willey & Son, New York.
- Nagar, S., and Jain, R.K., 2012, *Biobleaching application of cellulase poor and alkali stable Xylanase from Bacillus pumilus SV-85S*, Depart. of Biochemistry, Kurukshetra University, India.
- Pérez J., Muñoz T., Martínez J., 2002, Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: *an overview*, *International Microbiology*, 5 (2002), pp. 53–63
- Poliana J., and MacCabe AP., 2007, *Industrial Enzymes; Structure, Function, and Applications*. Dordrecht, Springer. Halaman: 76.
- Poedjiadi, A., 1994, *Dasar-dasar Biokimia*, Universitas Indonesia, Depok.
- PT. RAPP, 2002, *Pulp Mill Overview, Bleaching Plant, Training Centre*, Pangkalan Kerinci, Riau.
- Reilly, P.J., and Hollander, A., 1991, Xylanase: Structure and Function. In. *Proceeding of A Symposium on Trend in Biotechnology of Fermentation for Fuels and Chemicals*. Plenum Press. New York.
- Richana, N., 2002, *Produksi dan Prospek Enzim Xylanase dalam pengembangan Bioindustri di Indonesia*, Buletin AgroBio.
- Saha B.C., 2003, Hemicellulose Bioconversion, *Journal Industrial Microbiol Biotechnology*, Vol. 30, May 2003, hal 279-291.
- Sjostrom, S., 1995, *Kimia Kayu, Dasar-dasar dan Penggunaan*, terjemahan Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sigma-aldrich, [https://www. Sigmaaldrich.com/enzymeexplorer](https://www.sigmaaldrich.com/enzymeexplorer)
- Smook, G.A., 2002, *Handbook for Pulp & Paper Technologists (The Smook Book)*, Third Edition, A.W Publication Inc., Canada.
- Sugiyono, 2007, *Statistika untuk penelitian*, Alfabeta, Bandung.
- Tolan, J.S., 1992, *Mill implementation of enzyme treatment to enhance bleaching*, In Processing of 78th CPPA annual meeting, Montreal, Canada.
- Tsujibo, H., 1992, Purification, properties, and partial amino acid sequences of thermostable Xylanase from *Streptomyces termoviolaceus* OPC-520. *Appllication. Environment Microbiology* 58, pp 371-375.
- Viikari, L., Kantelinen A., Sundquist, J., and M. Linko, M., 1994, Xylanases in bleaching from an idea to industry. *FEMS Microbiology. Rev.* 13, pp. 335-350.
- Wyman, C. E., 1996, *Production and utilization, Handbook on Bioethanol*, Washington.
- Wirahadikusumah, M., 1989, *biokimia protein, enzim dan asam nukleat* ITB, Bandung.