

## Penentuan Suhu dan Waktu Optimum pada Tahap D0 (Delignifikasi Pertama) Proses *Bleaching* Pembuatan *Pulp*

Kardiman Silaban<sup>1</sup>, Chairul<sup>2</sup>, Maria Peratenta Sembiring<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293  
Telp. 085271775957; elya\_oktavia@yahoo.com

### ABSTRACT

*PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP) is a company has produced pulp and paper with Elemental Chlorine Free (ECF) system in bleaching pulp stage. PT. RAPP used four process bleaching stage of pulp that's D0 – EP - D1 – D2. Using chlorine dioxide (ClO<sub>2</sub>) as bleaching pruff but EP stage were lignin extract process using oxygen and sodium dioxide (NaOH). One of the important thing in bleaching pulp is D0 stage process. For producing high quality pulp, one of important pruff must be recheck is temperature and time of bleaching pulp. The purpose of research was knowing effect of temperature in cooking time of the first bleaching pulp stage process with accasia to quality pulp and economic value. Result of research to be used with get variation bleaching time 60, 70, 80, 90, 100 and 120 minutes and get variation bleaching temperature 65, 75, 80, and 90 (°C). in 65°C and 60 minutes brightness was produced higher than else that is 66.42% ISO.*

### 1. Pendahuluan

Kayu adalah komponen utama kayu terutama digunakan untuk pembuatan kertas, tetapi ada juga diproses menjadi berbagai turunan selulosa seperti rayon dan selofon. Secara umum komponen kimia kayu terdiri dari selulosa sebanyak 40%-50%, hemiselulosa dan lignin sebanyak 20%-35%, serta kandungan ekstraktif 2%-10% (Sjostrom, 1989).

Tujuan utama pembuatan *pulp* adalah untuk melepaskan serat-serat yang dapat diproses secara kimia atau mekanik atau dengan kombinasi kedua tipe tersebut. Pembuatan *pulp* secara kimia adalah proses dimana lignin dihilangkan hingga serat-serat kayu mudah dilepaskan pada pembongkaran dari bejana pemasak (*Digester*) atau setelah perlakuan mekanik lunak. Hampir semua produk *pulp* kimia di dunia saat ini masih didasarkan pada proses sulfit dan sulfat (kraft), dimana proses sulfat lebih sering digunakan (Hardjono. S, 1995).

PT. Riau Andalan Pulp And Paper (RAPP) adalah perusahaan yang memproduksi *pulp* dan kertas yang menggunakan system *Elemental Chlorine Free (ECF)* pada proses pemutihan *pulp*. Perusahaan ini telah beroperasi sejak tahun 1995 dan saat ini produksi *pulp* mencapai 2,7 juta ton /tahun (RAPP, 2012). PT. RAPP menggunakan empat tahap proses pemutihan *pulp* yaitu D0 – EP – D1 – D2. Dimana pada tahap D0 – D1 – D2 menggunakan chlorine dioksida (ClO<sub>2</sub>) sebagai bahan pemutih, sedangkan tahap EP merupakan proses ekstraksi lignin yang menggunakan oksigen dan Natrium dioksida (NaOH).

Salah satu hal penting dalam pembuatan *pulp* adalah proses tahapan D0. Proses pemutihan pada tahap pertama ini menggunakan bahan kimia atau senyawa klorin dioksida (ClO<sub>2</sub>). Tujuan tahapan ini untuk merusak dan memisahkan struktur lignin yang masih tersisa dalam *pulp*. Untuk menghasilkan *pulp* yang bermutu baik maka

salah satu yang penting diperhatikan adalah suhu dan waktu pemutihan *pulp*. Bila waktu dan suhu tidak tepat akan mengakibatkan target *brightness* tidak sesuai atau tidak tercapai sehingga *pulp* yang dihasilkan memiliki *brightness* yang rendah hal ini juga sangat mempengaruhi kualitas kertas yang akan dihasilkan.

## 2. Bahan dan Metodologi

### 2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan penelitian ini adalah Bahan baku pulp yang diambil dari keluaran tahap oksigen delignifikasi di unit fiberline II PT. RAPP, Clorine ( $\text{ClO}_2$ ) yang diperoleh dari unit Chemical Plant PT. RAPP, Sodium Thiosulfat 0,1N, Potassium Iodide 10 %, Indikator Starch 1%, Buffer Phosfat, Indikator Molbdate, Hydrocrite Sulfat 4N, Air Demin.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Waterbatch dengan temperature yang dapat dikendalikan, pH Meter, Homogenizer, *Analytical Balance*, Mikrowave dengan pengaturan temperatur, Erlenmeyer 250 ml, Erlenmeyer 500 ml, Thermometer, *Brightness Meter*, Oven, Buret Elektrik, Desikator, Alat Pengaduk.

### 2.2 Metode Penelitian

#### 2.2.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan utama yaitu pulp (bubur kertas) dari washing Screening

Bahan utama penelitian ini adalah pulp yang diambil dari outlet washing screaning. Pulp ditimbang dan dilakukan pengecekan berat kering untuk mengetahui berat sampel yang akan diujikan.

Penentuan strength Clorin

Sebelum melakukan penambahan kimia kedalam pulp, bahan kimia yang digunakan harus melakukan uji strength clorin. Dimana clorin yang digunakan di produksi dari Chemical plant. Tujuan pengecekan ini untuk mengetahui

penambahan air sebagai pelarut dan jagan konsentrasi clorine serta volume bahan kimia yang digunakan. (**Lampiran B**). Pengecekan strength clorine dilakukan apabila pengambilan clorin dalam waktu yang berbeda setiap prosesnya.

Pengecekan Bilangan Kappa

Bahan utama yaitu *pulp* dilakukan uji bilangan kappa (*kappa number*) yang digunakan. Pengujian ini mengindikasikan kandungan lignin dan kemampuan *pulp* tersebut untuk diputihkan. Pengujian didasarkan kepada reaksi dengan *potassium permanganate* ( $\text{KMnO}_4$ ). Normalnya dilakukan sebelum dan sesudah pengujian pemutihan (**Lampiran D**).

#### 2.2.2 Tahap Pemasakan

##### a. Proses D0 (Pemutihan Pertama)

- 1) Pulp dari unit washing screaning ditimbang sebanyak 100 gram (berat kering) didalam kantong plastik yang dilengkapi penutup, kemudian ditambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ml) (untuk mengontrol pH agar diperoleh pH akhir 3,5-4,5) dan air demin (ml) sehingga konsistensi pulp pada proses pemutihan menjadi 10%. Pulp diaduk di dalam kantong plastik dan selanjutnya dilakukan pengukuran pH sebagai pH awal pulp.
- 2)  $\text{ClO}_2$  (ml) ditambahkan sesuai dengan dosis kedalam plastik berisi pulp dan plastik ditutup dengan cepat, kemudian dilakukan pengadukan sehingga pulp dan  $\text{ClO}_2$  tercampur dengan merata dan masukkan kedalam microwave untuk mempercepat reaksi pulp selama 2 menit.
- 3) Pulp dimasukkan kedalam water batch dengan pengaturan temperatur  $^{\circ}\text{C}$  (65, 75, 80, 95) dan waktu yang dibutuhkan (60, 70, 80, 90, 100, 120) menit.
- 4) Setelah waktu tercapai, pulp diangkat dan disaring dalam wadah saringan. Filtrate hasil saringan diambil dan

dianalisa untuk mengetahui pH akhir dan kadar  $\text{ClO}_2$ .

- 5) Pulp dicuci dengan air demineral dalam wadah saringan selanjutnya pulp yang mengandung air diperas dan dihomogenkan.
- 6) Pulp yang sudah siap untuk dianalisa disimpan dalam plastik tertutup dan terlindung dari cahaya.

b. Proses EP

- 1) Pulp hasil pemutihan D0 ditimbang (gr) sebagai berat kering didalam kantong plastik yang dilengkapi penutup.
- 2) NaOH dengan dosis 1% dan air ditambahkan kedalam kantong plastik yang berisi pulp sehingga konsistensi menjadi 10%. Pulp diaduk dan dilakukan pengukuran pH sebagai pH awal.
- 3) Pulp dimasukkan kedalam water batch dengan pengaturan temperature  $80^{\circ}\text{C}$  dan waktu yang dibutuhkan 90 menit.
- 4) Setelah waktu tercapai, pulp diangkat dan disaring dalam wadah saringan. Filtrate hasil saringan diambil dan dianalisa untuk mengetahui pH akhir.
- 5) Pulp dicuci dengan air demineral dalam wadah saringan selanjutnya pulp yang mengandung air diperas dan dihomogenkan.
- 6) Pulp yang sudah siap untuk dianalisa disimpan dalam plastik tertutup dan terlindung dari cahaya.

c. Proses D1 (Pemutihan Kedua)

- 1) Pulp dari tahap ekstraksi diitimbang sebanyak 100 gram (berat kering) didalam kantong plastik yang dilengkapi penutup, kemudian ditambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ml) (untuk mengontrol pH agar diperoleh pH akhir 3,5-4,5) dan air demin (ml) sehingga konsistensi pulp pada proses pemutihan menjadi 10%. Pulp diaduk di dalam kantong plastik dan selanjutnya dilakukan pengukuran pH sebagai pH awal pulp.
- 2)  $\text{ClO}_2$  (ml) ditambahkan sesuai dengan dosis kedalam plastik berisi pulp dan plastik ditutup dengan cepat, kemudian

dilakukan pengadukan sehingga pulp dan  $\text{ClO}_2$  tercampur dengan merata dan masukkan kedalam microwave untuk mempercepat reaksi pulp selama 2 menit.

- 3) Pulp dimasukkan kedalam water batch dengan pengaturan temperatur  $75^{\circ}\text{C}$  dan waktu yang dibutuhkan 180 menit
- 4) Setelah waktu tercapai, pulp diangkat dan disaring dalam wadah saringan. Filtrate hasil saringan diambil dan dianalisa untuk mengetahui pH akhir dan kadar  $\text{ClO}_2$ .
- 5) Pulp dicuci dengan air demineral dalam wadah saringan selanjutnya pulp yang mengandung air diperas dan dihomogenkan.
- 6) Pulp yang sudah siap untuk dianalisa disimpan dalam plastik tertutup dan terlindung dari cahaya.

### 2.2.3 Tahap Pencucian

Pulp diangkat dari waterbatch kemudian didinginkan sampai suhu kamar. Kedalam penyaring pulp dimasukkan dan kemudian diambil filtratnya kedalam dua Erlenmeyer 250 ml (**Lampiran C**). Cuci pulp dengan menggunakan air demin (Demin water) sampai menunjukkan pulp berwarna putih dan lakukan pencucian sampai 3 kali mencuci. Keringkan pulp dengan menggunakan drying selama 8 menit. Angkat dan masukkan kedalam homogizer lakukan selama 3 kali. Timbang pulp setelah dikeringkan dan catat sebagai AD akhir dan cek konsistensi berikutnya. Tahap pencucian ini dilakukan pada semua step proses di bleaching.

### 2.2.3 Tahap Penimbangan dan Penentuan Kuliatas Pulp

Pulp yang sudah dikeringkan dengan menggunakan dryer dan dihomogenkan dengan menggunakan homogenezer ditimbang dan catat sebagai AD akhir. Kemudian ambil pulp sebelum penimbangan sebanyak 15- 20 gr sebagai bahan untuk mengecek kuliatas pulp. Dimana kuliatas pulp terdiri dari brightness, viscositas.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Analisa Kualitas Sampel

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan cara pengambilan sampel *pulp* dari keluaran tahap Post O<sub>2</sub> Washing di unit *Fiberline II*. Post O<sub>2</sub> Washing merupakan proses pencucian akhir pada *fiberline*. Tujuan pencucian ini untuk menghilangkan kotoran dari *pulp* dan meningkatkan konsistensi *pulp* menuju *D0 bleaching* dengan konsistensi *pulp* dari 3,5 % sampai ke *HD Tower* kira – kira 32 %. Setelah itu dilakukan pengecekan kualitas dari sampel yang diambil. Tabel 4.1 merupakan kualitas sampel yang diambil dari Post O<sub>2</sub> Washing.

Tabel 4.1. Kualitas Sampel dari Post O<sub>2</sub> Washing

Parameter	Kualiatas
ISO	58,6
Brightness	8,91
Kappa Number	29,4
Consistency	0,27

Proses *bleaching* dijalankan untuk menghilangkan warna-warna komponen lain didalam *pulp*. Namun demikian, degradasi selulosa bisa saja terjadi selama proses *bleaching* berlangsung, oleh karena itu proses *bleaching* dibuat dalam beberapa tahap yaitu tahap *D<sub>0</sub>*, *E<sub>0</sub>*, *D<sub>1</sub>*, dan *D<sub>2</sub>*. *Bleaching* ini menggunakan klorin dioksida yang lebih ramah terhadap lingkungan. Kedua tahap awal *bleaching* (*D<sub>0</sub>* dan *E<sub>0</sub>*) ditujukan untuk menurunkan kadar lignin, sedangkan kedua tahap selanjutnya (*D<sub>1</sub>* dan *D<sub>2</sub>*) ditujukan untuk mencapai target *brightness*.

Tingkat derajat putih (*brightness*) dari *pulp* sangat dipengaruhi oleh banyak sedikitnya lignin yang terkandung didalamnya. Kandungan lignin selalu diukur sebelum dan sesudah proses *pulping* maupun *bleaching*. Pengukuran lignin secara langsung cukup rumit, sehingga biasa dilakukan dengan cara yang tidak langsung yaitu dengan mengukur reaksi standar antara kalium permanganate dengan *pulp* yang dinamakan dengan Kappa Number untuk

kappa number adalah 7,0-10,0. Semakin tinggi nilai kappa numbernya, maka kandungan lignin nya semakin tinggi sehingga membutuhkan biaya yang besar untuk memutihkan atau mencapai *brightness* yang tinggi.

#### 3.2 Analisa Hasil Bleaching

Tujuan dilakukannya analisis untuk *brightness* dari *pulp* adalah untuk memantau dan untuk memastikan *pulp* setelah proses *bleaching* disetiap tahapannya sudah sesuai dengan kualitas yang dibutuhkan dan untuk mengestimasi konsumsi bahan kimia yang digunakan untuk proses *bleaching* pada tahap selanjutnya atau tahap sebelumnya.

*D<sub>0</sub> stage* merupakan tahap awal pemutihan dimana pada *stage* ini digunakan ClO<sub>2</sub> sebagai bahan kimianya. Selain itu dapat juga digunakan peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) apabila persediaan ClO<sub>2</sub> tidak mencukupi dan kappa masih tinggi (*range* 7-8). *Unbleached pulp* dialirkan ke *dilution conveyor* kemudian ditambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk menurunkan pH. Setelah itu *pulp* masuk ke *stand pipe* kemudian menuju ke *mixer*. Sebelum masuk ke *mixer* ditambahkan ClO<sub>2</sub> sebanyak 25-35 kg/ton untuk *acacia* atau 30-50 kg/ton untuk MHW. Di dalam *mixer pulp* dicampur dengan ClO<sub>2</sub> kemudian direaksikan didalam reactor. Setelah itu *pulp* di-press dengan alat *Twin Roll Press*, kemudian menuju ke *dilution conveyor* untuk dialirkan ke tahap selanjutnya. Tabel 4.2 memperlihatkan hasil variasi waktu dan suhu *bleaching* pada tahap Do proses *Bleaching*.

Tabel 4.2 Hasil *Brightness* di variasi Suhu dan Waktu Tahapan Do *Bleaching*

Waktu (menit)	<i>Brightness</i> (% ISO)			
	Suhu 65°C	Suhu 75°C	Suhu 80°C	Suhu 90°C
60	66.42	64.69	63.67	61.41
70	65.91	65.21	64.49	60.74
80	65.51	64.43	63.22	61.58
90	64.69	62.40	64.69	62.22
100	65.21	63.58	65.21	61.27
120	64.43	61.47	64.43	61.23

Dence and Reeve (1996) menyatakan faktor-faktor yang berpengaruh pada tahapan Do adalah Kappa Number dan Soda carry over dari proses *washing*, dosis dan strength ClO<sub>2</sub> serta kondisi reaksi seperti pH, temperatur, suhu dan *retention time*. Pada tabel terlihat suhu dan waktu *bleaching* di tahapan Do sangat berpengaruh. Persentase *brightness* yang diharapkan di tahapan Do adalah lebih dari 65% ISO.

### 3.2 Pengaruh Waktu dan Suhu terhadap *Brightness* di D0 Stage

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan waktu dan suhu terhadap *brightness* atau derajat putih *pulp* yang dihasilkan.

Khlorin akan bereaksi pada beberapa menit yang pertama dan sisanya akan segera terbuang. Ini perlu dicatat bahwa ortho-kuinon dalam filtrate proses khlorinasi akan dititrasi sebagai khlorin pada pengujian khlorin yang tersisa, yang ditunjukkan dengan suatu sisa yang tidak terdeteksi. Pengukuran yang benar terhadap sisa khlorin dilakukan dengan mengekstraksi sisa klorin dari filtrat dengan menggunakan Karbon Tetraklorida. Ada suatu keuntungan memiliki waktu tinggal 60 menit pada menara Khlorinasi. Keseluruhan khlorin akan dikonsumsi pada suatu kondisi-kondisi yang terganggu, seperti pada guncangan yang kuat, kehilangan kendali, dll. Ini adalah keuntungan dari menjaga sisa khlorin nil. Pada umumnya perlakuan bahan kimia pemutih terhadap *pulp* akan menjadi lebih reaktif dengan memperpanjang waktu reaksi. Namun, waktu reaksi terlalu lama juga akan menyebabkan rusaknya rantai selulosa dan hemiselulosa sehingga menyebabkan turunnya derajat putih dan kualitas *pulp* yang dihasilkan (Batubara, 2006).

Penurunan derajat putih (*Brightness Reversion*) merupakan perubahan warna pada *pulp* akibat beberapa factor seperti masa transportasi, penyimpanan, dan proses lainnya. *Brightness Reversion* dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu :

1. Thermal yellowing, adalah perubahan warna yang disebabkan oleh

penyimpanan *pulp* dalam waktu yang lama pada *suhu* lingkungan (ambient) ditempat yang gelap dan memiliki kelembapan tinggi.

2. Photo yellowing, adalah perubahan warna yang disebabkan oleh adanya cahaya terhadap *pulp* terutama sinar ultra violet.

Penguningan *pulp* yang disebabkan oleh panas terjadi melalui oksidasi gugus hidrokuinon lignin. Penguningan *pulp* akan bertambah seiring meningkatnya *suhu* dan kelembapan. Pada gambar 4.1 terlihat jelas pada suhu 65°C dan waktu 60 menit terlihat jelas *brightness* yang dihasilkan tertinggi yaitu 66.42 %.

Semua limbah cair yang dihasilkan dari unit *bleaching* akan dimasukkan ke dalam *bucket screen* untuk diproses lebih lanjut. *Bucket screen* bertujuan untuk memisahkan antara limbah padat yang dapat diangkat dengan limbah cairnya, dimana hanya limbah cair yang akan diproses dalam *plant* ini. Dari *bucket screen* ini nantinya limbah cair tersebut akan dialirkan ke dalam *primary clarifier* dengan suhu 52-55°C.

Cara kerja dari *primary clarifier* ini secara sedimentasi atau endapan, dimana untuk *under flow* berupa *slurry*, *slurry* ini akan diproses lebih lanjut. Pada *under flow* yang mengandung *slurry* akan diproses pada *sludge handling*, disini *sludge* akan diproses untuk menghilangkan sisa air atau limbah yang masih melekat, jadi hasil yang sudah diproses bisa langsung dibuang ke penampungan limbah. Selain *under flow* terdapat *over flow*, dimana aliran akan langsung mengalir ke dalam *equalition basin*.

*Over flow* dari *primary clarifier* dimasukkan ke dalam *equalition basin*. Hal ini dilakukan agar bisa menurunkan temperatur dan *effluent* yang ada akan tetap rata (tidak mengendap), jadi dalam hal ini dilakukan pengadukan. Proses selanjutnya, cairan limbah dialirkan ke dalam *neutralizing tank*, dimana pada tangki ini akan dilihat pH dari cairan limbah tersebut. Apabila pH-nya bersifat asam maka akan

dinetralisasi dengan menambahkan NaOH, tetapi jika pH-nya tinggi (bersifat basa), maka akan ditambahkan HCl.

Selain itu, *effluent* bisa masuk ke dalam *cooling power* dimana suhunya antara 32-37°C, setelah itu dilakukan penambahan *defoamer* untuk menghilangkan busa dan pemberian *nutrient* (media tumbuh) berupa urea dan DAP yang dilakukan secara injeksi lewat pompa. Tujuan dari penambahan ini untuk menumbuhkan mikroba dengan media urea dan DAP agar dapat mengurangi kadar TSS, pH, dan COD.

Keluar dari *cooling water* akan masuk ke *aeration basin* yang setiap unitnya mempunyai 23 *aerator*. Kerja *aerator* akan menghasilkan gelembung udara. Mikroba aerob dimanfaatkan untuk menurunkan COD limbah tersebut. Dari *aeration basin* cairan limbah dialirkan menuju *distribution well* yang akan membagi limbah tersebut ke dalam empat buah *secondary clarifier*.

*Secondary clarifier* ini merupakan tahap akhir untuk pengolahan *effluent* yang nantinya bisa langsung dibuang ke sungai Kampar. Untuk *over flow* dimana limbah sudah dianggap ramah lingkungan, maka limbah bisa langsung dibuang. Tapi pada *under flow*, *effluent* ini akan dikembalikan lagi ke *handling* untuk mendapatkan proses ulang.

#### 4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang di dapat dari penelitian ini adalah:

1. Persentase Brightness optimum yang dihasilkan yaitu pada suhu bleaching 65°C dan waktu 60 menit yaitu 66,42%ISO Brightness.
2. Waktu dan Suhu *bleaching* dari proses pembuatan pulp merupakan salah satu faktor penting untuk memperoleh suatu pulp dengan tingkat kecerahan atau *brightness* yang stabil serta kekuatan serat yang tinggi.

#### 5. Saran

Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan proses *bleaching* pada proses pembuatan pulp dengan

memvariasikan dosis chemical yang digunakan serta pH reaksi.

Melakukan Penelitian selanjutnya dengan variasi waktu dan Temperatur yang lain.

#### 6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak dan Ibu pembimbing yang membantu peneliti selama penelitian ini. Terima kasih kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepada rekan-rekan Teknik Kimia Angkatan 2010 yang telah banyak membantu penulis dalam skripsi ini.

#### Daftar Pustaka

- Bajpai, P. (1999). *Application of enzymes in the Pulp and Paper Industry*. *Biotechnology Progress*, 15, 147-157.
- Daru S R. 2002. *Minimasi Limbah Dalam Industri Pulp and Paper*. Jakarta: Erlangga
- Dence, C.W, and D.W. Reeve. (1996). *Pulp Bleaching : Principle and Practice*, TAPPI Press, Atlanta.
- Deneault, C., Ledes, C., Valade, J.L. (1994). *The Use of Xylanase in Kraft Pulp Bleaching. A Review*, *Tappi Journal*, 77 (6), 125-131.
- Fengel, D., Wegener, M. (1995). *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi*. Translated from the English by H. Sastrohamidjojo. Yogyakarta, Gajah Mada University Press.
- RAPP. 2005. *Buku Manual Training PT. Riau Andalan Pulp and Paper*, RAPP Press
- RAPP. 2006. *Pulp Making section PT. Riau Andalan Pulp And Paper*, RAPP Press
- PT.RAPP, (2008) Data Produksi Pulp dan Reject Pulp. (Komunikasi internal dengan staf PT. RAPP).
- RAPP. 2009. *Bleaching Process PT. Riau Andalan Pulp and Paper*. RAPP Press
- Sjostrom, E. (1993). *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*, 2<sup>nd</sup> Ed., Academic Press.

TAPPI. (1996) *TAPPI Test Methods*, Atlanta:  
TAPPI Press.

Tolan, J.S., Canovas, R.V. 1992. *The Use Of  
Enzymes to Decrease the  $CL_2$   
Requirement in Pulp Bleaching*, *Pulp  
and Paper Canada*, Vol No. 5