

BIOREFINING SEBAGAI SALAH SATU TEKNOLOGI ALTERNATIF PADA PROSES PENGGILINGAN SERAT

Sari Farah Dina^{*)}, Nina Elyani, Hoiror Rozikin, Lis Kusumawati

^{*)} Peneliti Balai Riset dan Standardisasi Medan

BIOREFINING AS AN ALTERNATIVE TECHNOLOGY FOR PULP REFINING

ABSTRACT

The experiments of refining for long fibers bleached pulp using commercial cellulase enzyme (biorefining) has been done. Biorefining was carried out at consistency 1.5 %, pH 7.5, temperature 50 ± 5 °C, and freeness target 350 ml CSF. Cellulase addition varied at 0 – 0.6 % to fibers dry weight. The results showed that cellulase improves formation, brightness, and tensile index. But opacity, porosity, and tearing index decrease. Time for refining decrease with increasing of cellulase addition. At 0.4 cellulase addition the optimum improvements of sheet quality and energy saving observed.

INTISARI

Telah dilakukan percobaan penggilingan menggunakan enzim (biorefining) untuk pulp serat panjang terputihkan menggunakan selulase komersial. Biorefining dilakukan pada konsistensi 1,5%, pH 7,5, temperatur 50 ± 5 °C, dan target freeness 350 ml CSF. Penambahan selulase divariasikan pada 0 – 0,6% terhadap berat kering serat. Hasil percobaan menunjukkan penambahan selulase dapat memperbaiki formasi, derajat putih, dan indeks tarik. Sedangkan opasitas, porositas dan indeks sobek mengalami penurunan. Semakin tinggi dosis penambahan selulase, waktu penggilingan semakin singkat. Pada penggunaan selulase 0,4% diperoleh perbaikan kualitas kertas optimal dan penghematan energi.

PENDAHULUAN

Berbagai kegunaan enzim, khususnya selulase, xylanase dan α -amilase pada proses pembuatan pulp dan kertas telah dikaji. Aplikasi bioteknologi ini diketahui dapat memperbaiki efisiensi proses, menghemat energi, meningkatkan produktivitas serta lebih akrab lingkungan.

Secara lebih rinci, beberapa manfaat dari penggunaan enzim dalam tahapan proses diantaranya dapat meningkatkan kemampuan terputihkan pulp, efektifitas pengendalian pitch dan penghilangan tinta serta dapat meningkatkan kemampuan modifikasi serat selama tahap penggilingan.

Penggilingan merupakan tahapan penting untuk pengembangan sifat serat dan selama pengoperasiannya membutuhkan energi cukup besar sekitar 800 – 1100 kWh/ton pulp (6). Sebagai bagian proses yang penting dalam pembuatan kertas, operasi penggilingan selalu

fokus terhadap upaya pencapaian sifat serat yang optimal dengan konsumsi energi minimal.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa, penambahan enzim pada proses penggilingan (*biorefining*) berpengaruh dalam pendalihan fibrilasi serat sehingga dapat meningkatkan kekuatan ikatan antar serat, dan juga mampu mempersingkat waktu pencapaian target derajat giling yang ditentukan. Dengan demikian *biorefining* dapat diharapkan mampu memberikan perbaikan kualitas serat dan menurunkan energi penggilingan.

Penelitian ini mengkaji penerapan *bio-refining* pulp serat panjang, yang telah diputihkan (NBKP) terhadap konsumsi energi dan sifat kertas yang dihasilkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Penggilingan Pulp Konvensional

Penggilingan merupakan operasi untuk modifikasi serat sehingga menghasilkan kertas dengan sifat yang dikehendaki. Secara umum,

peristiwa penggilingan memberikan beberapa efek terhadap serat, diantaranya adalah: hidrasi yang berakibat pecahnya dinding serat diikuti dengan pembengkakkan serat, penyikatan serat (*brushing*), fibrilasi, pemotongan serat, pembentukan serat halus (*fines*), dan pembentukan koloid debris (3). Pembentukan *fines* sangat diperlukan untuk mempercepat stabilitas proses melalui peningkatan kekuatan lembaran. Tetapi jika pembentukan *fines* berlebihan, maka akan memberikan beberapa kerugian selama proses pembuatan kertas, yakni: mengurangi laju drainase air di mesin, meningkatkan beban pengeringan, meningkatkan pendinginan, menurunkan kecepatan mesin dan akumulasi *fines* pada daur-ulang air pasi (5).

Penggilingan merupakan sub-proses paling penting pada pembuatan kertas dimana operator dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sifat akhir kertas. Beberapa sifat kertas mengalami peningkatan seperti ketahanan tarik, namun sifat lain sebaliknya mengalami penurunan. Karena adanya kontradiksi dari sifat akhir kertas ini, maka pada pengoperasiannya penggilingan memerlukan beberapa kompromi sesuai dengan kepentingan proses dan sifat akhir produk yang dikehendaki.

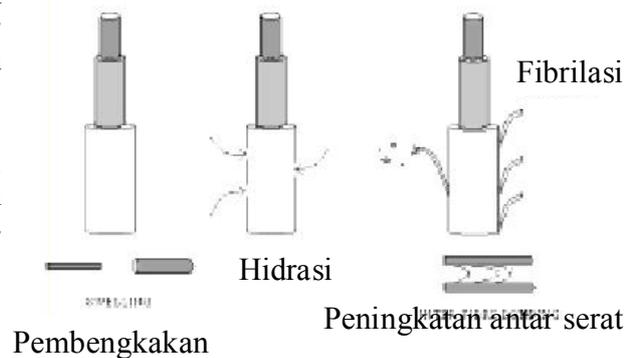
Penggilingan dengan penambahan enzim (*Biorefining*)

Enzim adalah produk hayati mikroorganisme yang terdiri dari satu atau beberapa gugus polipeptida (protein). Penambahan enzim pada suatu proses biasanya hanya sebagai katalisator untuk mempercepat suatu reaksi. Enzim bekerja dengan cara menempel pada permukaan molekul zat-zat yang bereaksi dan mempercepat proses reaksi. Percepatan terjadi karena enzim menurunkan energi pengaktifan yang dengan sendirinya akan mempermudah terjadinya reaksi.

Sebagian besar enzim bekerja secara khas, artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh, α -amilase hanya digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa.

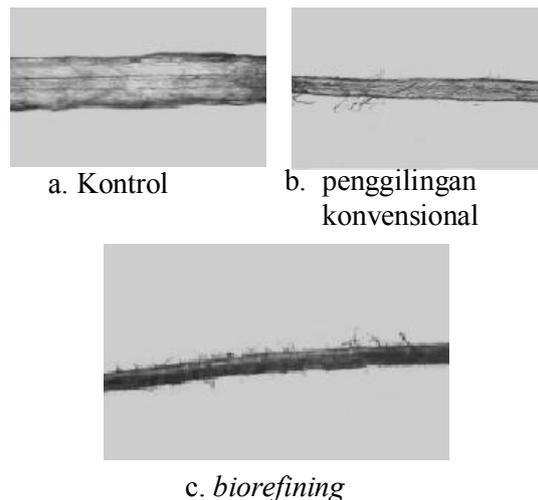
Salah satu produk mikrobiologi yang dapat mendegradasi selulosa menjadi β -glukosa (gula terlarut) adalah *selulase*. Reaksi spesifik *selulase* pada substrat selulosa dapat dimanfaatkan untuk mempercepat efek

pengelupasan (*peeling effect*) pada peristiwa penggilingan dimana mekanismenya dapat dilihat pada Gambar 1. *Selulase* melemahkan rantai selulosa dan kemudian ditambah aksi mekanis dari penggilingan menyebabkan serat menjadi mudah terurai dan menurunkan waktu penggilingan.



Gambar 1. Mekanisme *biorefining*

Biorefining diyakini dapat menghasilkan fibrilasi serat lebih banyak (lihat gambar 2) dengan pemotongan serat minimal akibat waktu giling lebih cepat. Hal ini memberikan beberapa keuntungan, diantaranya: kualitas serat yang baik dengan tingkat koloid *fines* lebih rendah, kualitas kertas yang lebih baik dan memungkinkan optimisasi kinerja *refiner*.



Gambar 2. Penggilingan serat panjang

Pengendalian reaksi enzim perlu dilakukan agar *peeling effect* berlebihan dapat dicegah, sehingga enzim hanya akan mengurai sebagian kecil komponen selulosa yang memiliki afinitas yang baik terhadap air.

Beberapa parameter yang perlu diperhatikan sehubungan dengan pencapaian kinerja enzim secara optimal adalah: konsentrasi (dosis) enzim, konsentrasi substrat, pH dan temperatur.

Jika *selulase* lebih efektif bekerja untuk penggilingan serat yang telah diputihkan seperti LBKP dan NBKP, maka *xylanase* dapat digunakan untuk serat yang tidak diputihkan (LUKP atau NUKP).

BAHAN DAN METODA

Percobaan *biorefining* dilakukan pada skala laboratorium menggunakan *Niagara beater*. Bahan baku yang digunakan adalah pulp serat panjang yang sudah diputihkan (NBKP) hasil produksi Kinleith-Kanada. Enzim yang digunakan adalah jenis komersial dengan kandungan dominan *selulase* dengan kondisi pemakaian seperti tertera pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1 Kondisi Pemakaian Enzim Selulase

Parameter	Satuan	Rentang Nilai
Dosis	kg/ODT serat	0,3 – 0,5
pH	-	4,5 – 7,5
Temperatur	°C	45 – 55
Konsistensi serat	%	4 – 8

Dalam percobaan ini maka konsistensi serat disesuaikan dengan kemampuan kerja *beater* yang ada yakni 1,5% dengan dosis penambahan *selulase* divariasikan yakni 0; 0,2; 0,4 dan 0,6 % terhadap berat kering serat. Parameter lain dijaga konstan yakni pH 7,5 dan temperatur 50 ± 5 °C. Akhir penggilingan dikendalikan untuk mendapatkan target *freeness* 350 ml CSF. Terhadap *biorefined pulp* dibuat lembaran tangan 60 g/m^2 , di-*press*, dikeringkan, dikondisikan pada suhu 23 ± 1 °C dan RH 50 ± 2 % lalu dilakukan pengujian sifat kekuatan, fisik dan optik. Hasil uji dan pengukuran digunakan untuk mengevaluasi dampak *biorefining* terhadap sifat kertas.

Kajian konsumsi energi dilakukan dengan mengukur waktu penggilingan untuk mencapai derajat giling 350 ml CSF, mengukur $\cos \theta$, kuat arus (i) dan tegangan (V). Dengan asumsi parameter alat yang mempengaruhi energi penggilingan adalah konstan, maka secara sederhana energi penggilingan (P) dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut.

$$P = \frac{\cos \theta \times V \times (\Delta I) \times t}{m}$$

Keterangan :

P adalah energi penggilingan (kWh/ton serat kering)

$\cos \theta$ faktor tegangan

V tegangan (Volt)

(ΔI) selisih antara kuat arus ada beban dan tanpa beban (Ampere)

t waktu penggilingan (jam)

m berat kering serat yang digiling (ton)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Lembaran

Penambahan *selulase* selama tahap penggilingan diharapkan dapat meningkatkan kualitas lembaran yang dihasilkan. Adanya *selulase* dalam mengendalikan tingkat fibrilasi dan minimasi kandungan *finer* dievaluasi dibandingkan dengan stok tanpa penambahan enzim.

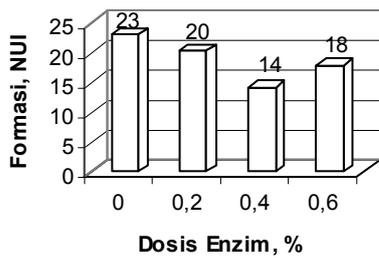
Karakteristik lembaran yang dijadikan sebagai acuan perbaikan kualitas lembaran adalah: formasi, sifat optik (derajat putih dan opasitas), sifat fisik (porositas) dan kekuatan (ketahanan tarik dan ketahanan sobek). Kajian evaluasi tersebut dijelaskan lebih rinci sebagai berikut.

a. *Formasi*

Formasi merupakan salah satu ukuran ketidakseragaman distribusi serat dalam lembaran kertas yang dinyatakan dalam satuan indeks ketidakseragaman (NUI = *nonuniformity index*). Semakin baik tingkat distribusi serat yang membangun lembaran kertas (formasi semakin baik atau NUI semakin kecil) akan berpengaruh terhadap perbaikan pada hampir seluruh sifat kertas.

Uji formasi dapat dilakukan secara visual yaitu dengan mengamati lembaran dibawah cahaya, akan tetapi cara ini bersifat subyektif dan tidak memiliki nilai numerik. Penentuan kuantitatif indeks ketidak seragaman serat dalam lembaran kertas dapat diukur berdasarkan penentuan transmisi cahaya relatif dari kertas dibandingkan terhadap bahan standar.

Hasil uji formasi seperti terlihat pada Gambar 4, menunjukkan bahwa perlakuan enzim pada penggilingan dapat memberikan perbaikan formasi lembaran yang ditandai



Gambar 3. Formasi

dengan menurunnya nilai NUI dengan meningkatnya dosis enzim.

Turunnya nilai NUI disebabkan reaksi selulase lebih memudahkan terjadinya *swelling* yang diikuti terbentuknya fibrilasi eksternal maupun internal. Fibril-fibril yang terbentuk mampu membangun struktur jalinan serat yang lebih rapat, sehingga formasi kertas menjadi lebih baik.

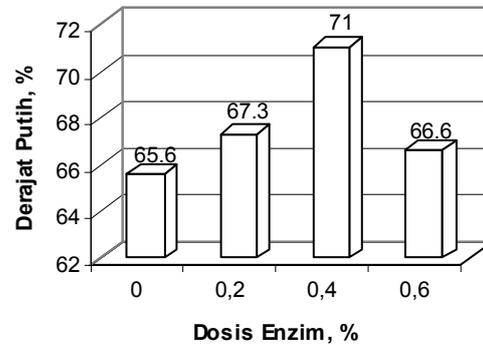
Penambahan enzim secara berlebihan seperti yang terjadi pada lembaran dengan dosis 0,6% dapat meningkatkan kembali ketidakseragaman serat (NUI naik). Hal ini dikarenakan adanya selulase dalam jumlah berlebihan akan memberikan efek pengelupasan lebih kuat dan juga mendegradasi fibril-fibril yang telah ada sehingga terbentuk *finer* lebih banyak. Sebagian *finer* yang terbentuk ini tidak teretensi pada lembaran, menyebabkan sebagian ruang /celah didalam struktur jalinan serat tidak terisi oleh *finer*. Semakin banyak celah yang tidak terisi oleh *finer* dapat menurunkan formasi lembaran (NUI makin tinggi).

b. Derajat Putih

Formasi lembaran memiliki kaitan yang erat dengan derajat putih. Semakin baik formasi lembaran maka cahaya yang dihamburkan akan lebih banyak dan hal ini dapat meningkatkan derajat putih kertas.

Hasil uji derajat putih pada Gambar 4, menunjukkan bahwa perlakuan enzim pada penggilingan dapat meningkatkan derajat putih. Besarnya peningkatan derajat putih lembaran pada penambahan selulase 0,2% dibanding terhadap kontrol sebesar hampir 2 poin, dan optimum hingga mencapai 5,4 poin pada penambahan selulase 0,4%. Hal ini sejalan dengan pencapaian perbaikan formasi lembaran pada variasi tersebut. Namun pada penambahan selulase 0,6% peningkatan derajat putih lembaran hanya mencapai 1 poin saja. Turunnya peningkatan derajat putih dari 5,4

poin menjadi 1 poin akibat adanya kelebihan selulase didalam stok, sehingga terjadi degradasi fibril yang telah terbentuk lebih lanjut. Kondisi ini sesuai dengan efek yang terjadi pada parameter formasi.

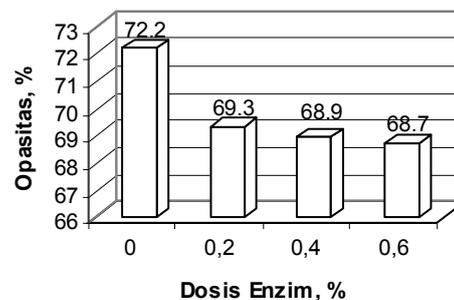


Gambar 4 Derajat Putih

c. Opasitas

Opasitas menjadi parameter penting terutama untuk kertas yang akan dicetak/ditulis pada kedua permukaannya agar tidak tembus pandang. Selain gramatur, opasitas dapat dipengaruhi oleh bahan pengisi dan tingkat penggilingan yang diberikan. Penggilingan dapat meningkatkan luas permukaan total serat sehingga dapat memantulkan cahaya lebih banyak. Jika ini tercapai, dikatakan opasitas lembaran kertas meningkat.

Dari Gambar 5 dapat dilihat adanya penurunan opasitas lembaran setelah perlakuan selulase. Penggilingan dengan penambahan selulase dapat meningkatkan luas kontak optik antar serat akibat meningkatnya ikatan antar serat. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan opasitas lembaran.



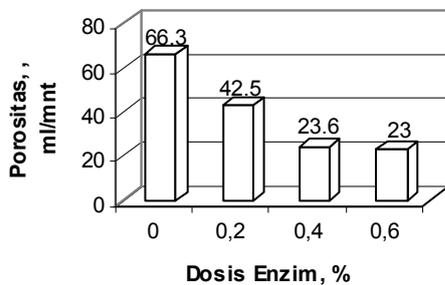
Gambar 5. Opasitas

Selain itu, turunnya opasitas juga dapat disebabkan karena adanya peningkatan fleksibilitas lembaran akibat perlakuan enzim. Meningkatnya fleksibilitas akan lebih memudahkan lembaran untuk dikonsolidasikan sehingga densitas menjadi meningkat. Kenaikan densitas memberikan dampak terhadap peningkatan transparansi kertas dan pada akhirnya memberikan kontribusi pada penurunan opasitas.

d. Porositas (Bendtsen)

Porositas kertas merupakan indikasi kemampuan kertas untuk dapat ditembus oleh udara yang dilewatkan tegak lurus pada permukaannya. Porositas juga menggambarkan adanya ruang-ruang kosong dalam lembaran kertas. Makin rapat ikatan antar serat makin sedikit sedikit ruang kosong dan makin rendah porositas.

Hasil uji porositas (*Bendtsen*) pada Gambar 6 menunjukkan bahwa *biorefining* dapat menurunkan porositas lembaran. Hal ini terlihat dari keseluruhan variasi, dimana dengan semakin bertambahnya dosis enzim pada penggilingan maka lembaran semakin tidak *porous*.



Gambar 6. Porositas

Reaksi selulase selain membantu terbentuknya fibrilasi internal maupun eksternal yang lebih cepat dan lebih banyak, juga menghasilkan serat yang lebih fleksibel sehingga lebih mudah dipadatkan. Susunan jalinan serat yang lebih rapat dan fibril yang dapat mengisi ruang antar serat yang kosong menyebabkan porositas menurun dengan semakin meningkatnya dosis selulase.

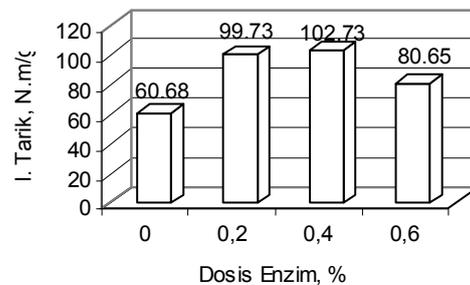
e. Indeks Tarik

Ketahanan tarik lembaran dipengaruhi oleh jumlah ikatan antar serat, kualitas serat, panjang serat serta kandungan serat halus (*finer*). Penggilingan merupakan operasi kunci yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan

pencaapaian kekuatan kertas. Untuk melihat pengaruh penggilingan terhadap perubahan kualitas serat pada lembaran tanpa dipengaruhi oleh jumlah serat, biasanya nilai ketahanan tarik dibagi dengan gramatur dan hasilnya dinyatakan sebagai indeks tarik.

Dari percobaan yang dilakukan, adanya selulase selama penggilingan memberikan perbaikan terhadap kualitas ikatan antar serat akibat kualitas fibril-fibril yang terbentuk. Seperti terlihat pada Gambar 7, bahwa hampir seluruh variasi dosis enzim menunjukkan peningkatan indeks tarik dibanding penggilingan tanpa enzim (kontrol).

Nilai optimum dicapai pada dosis penambahan sebesar 0,4% yakni 102,73 N.m/g. Penambahan lebih lanjut yakni 0,6 % menurunkan kembali indeks tarik meskipun nilainya masih lebih tinggi dibanding kontrol. Jumlah enzim yang berlebih menyebabkan degradasi terhadap selulosa akan lebih banyak. Peristiwa degradasi ini lebih dulu akan menyerang permukaan serat terluar yang dalam hal ini fibril-fibril yang terbentuk. Dengan berkurangnya fibril akan menurunkan kualitas ikatan antar serat dan juga jumlah ikatan antar serat sehingga menurunkan indeks tarik lembaran.



Gambar 7. Indeks Tarik

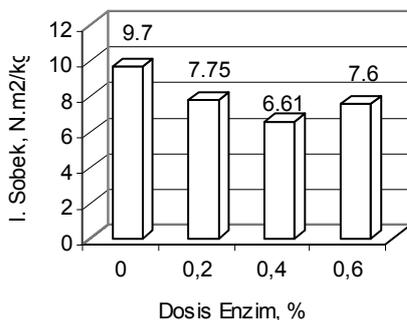
f. Indeks Sobek

Ketahanan sobek kertas utamanya dipengaruhi salah satu faktor berikut, diantaranya panjang serat, kekuatan serat, kualitas ikatan antar serat dan/atau tingkat orientasi serat yang membangun lembaran kertas. Proses penggilingan merubah panjang dan kualitas ikatan antar serat, sedangkan mekanisme pembentukan lembaran mempengaruhi tingkat orientasi serat pada lembaran. Semakin banyak kandungan selulase selama penggilingan maka semakin cepat tahap pengelupasan terjadi. Pada kondisi ini

dimungkinkan terjadinya pemutusan/pemotongan serat/fibril yang berpengaruh pada penurunan ketahanan sobek.

Disisi lain, penggilingan juga dapat meningkatkan fleksibilitas serat. Kertas yang dibuat dari serat yang lebih fleksibel akan memiliki ketahanan sobek lebih tinggi dibanding kertas yang lebih kaku. Hal ini dikarenakan selama aksi penyobekan hampir semua serat terlibat didalam menahan gaya penyobekan.

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa reaksi selulase sampai dengan penambahan dosis enzim 0,4% menurunkan indeks sobek lembaran. Hal ini berhubungan dengan waktu pencapaian derajat giling (*freeness*) yang ditetapkan yakni 350 ml CSF (lihat gambar 10). Dibandingkan blanko (kontrol), semakin besar dosis penambahan enzim maka waktu yang dibutuhkan semakin singkat. Dengan semakin singkatnya waktu maka untuk target *freeness* yang sama akan menghasilkan efek fleksibilitas yang lebih kecil terhadap serat, sehingga menurunkan indeks sobek lembaran.



Gambar 8. Indeks Sobek

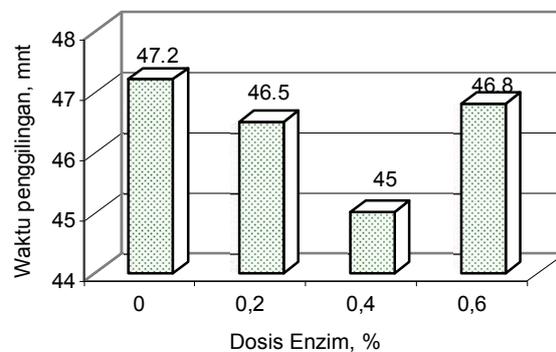
Penambahan enzim berlebih (0,6%) menyebabkan terjadinya peningkatan nilai indeks sobek kembali. Kondisi ini diikuti dengan waktu pencapaian *freeness* yang lebih lama dibanding variasi enzim lainnya. Efek mekanis lebih lama yang diterima serat selama penggilingan memberikan fleksibilitas maksimal, sehingga meningkatkan kembali indeks sobek lembaran.

g. **Konsumsi Energi**

Operasi penggilingan merupakan konsumen energi terbesar pada unit penyediaan stok di pabrik kertas. Hal ini terlihat nyata terutama pada penggilingan serat panjang seperti NUKP atau NBKP. Terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi konsumsi energi penggilingan, diantaranya karakteristik stok, parameter alat dan kondisi operasi. Dengan asumsi parameter penggilingan konstan maka konsumsi energi dapat dianggap sebagai fungsi

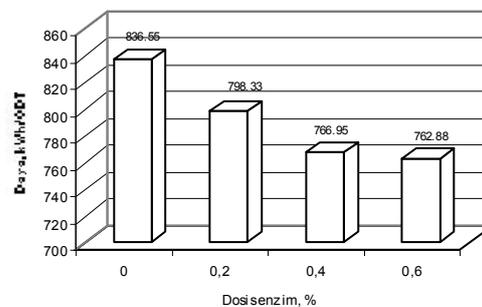
waktu. Dengan demikian dengan semakin singkatnya waktu penggilingan berarti energi yang dikonsumsi semakin rendah.

Dari Gambar 9 dan 10 terlihat bahwa reaksi selulase dapat mempercepat pencapaian target *freeness* yang diinginkan (350 ml CSF). Adanya selulase yang berfungsi sebagai katalisator dapat membantu mempercepat reaksi pengelupasan dinding primer dan fibrilasi sehingga penggilingan membutuhkan waktu yang lebih singkat. Meskipun pada penambahan dosis enzim 0,6% terjadi peningkatan waktu penggilingan akibat menurunnya tegangan, kuat arus dan $\cos \theta$, namun secara total kebutuhan energi lebih rendah dibanding variasi lainnya.



Gambar 9. Waktu Penggilingan

Dengan demikian penggilingan NBKP secara enzimatik menggunakan selulase dapat menurunkan pemakaian energi. Semakin tinggi dosis penambahan selulase, maka semakin cepat terjadi pengelupasan dan pada akhirnya membutuhkan energi lebih rendah.



Gambar 10. Konsumsi Energi

KESIMPULAN

Dari percobaan ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan selulase dapat meningkatkan kualitas lembaran yang dihasilkan ditinjau dari perbaikan formasi, derajat putih dan indeks tarik. Sedangkan opasitas, porositas, dan indeks sobek mengalami penurunan.
2. Kualitas lembaran optimum dicapai pada penambahan selulase sebesar 0,4%.
3. Semakin tinggi dosis penambahan selulase waktu penggilingan yang diperlukan untuk mencapai target *freeness* 350 ml CSF semakin singkat dan energi yang diperlukan semakin rendah.
4. Penambahan selulase 0,4% dapat menghemat energi sebesar 70 kWh/ton NBKP.

DAFTAR PUSTAKA

1. Eriksson, L.A., Heitmann, J.A., 1988 *Application of Enzyme Technology in the Paper Industry*, Pulping Conference Proceedings, Tappi Press.
2., *Fibrezyme LBR and Fibrezyme CS – 2005 Biorefining Aids with Wide Applicability*, Dyadic International Inc, 140 Intracoastal Pointe Drive, Suite 404, Jupiter, Florida.
3., *Enzymatic Biorefining*, Dyadic International (USA), Inc. 2005 “*Enhancement of Wood Pulps by Cellulase Treatment*”, August 30.
4. Scott, W.E., James C. Abbot, 1995, *Properties of Paper*, Tappi Press, Atlanta.
5. Seth, Rajinder, *Beating and Refining Response of Reinforcement Pulp*, Tappi Journal, Vol. 82, No. 3, Atlanta, 1999.
6. Simons, Agra, 1999, *Energy Cost Reduction in The Pulp and Paper Industry*, Paprican, Pulp and Paper Research Institute of Canada.
7. Yung B. Seo, Yoon Chul Shin, Yang Jeon, *Enzymatic and Mechanical Treatment on Chemical Pulp*, Tappi Journal, Vol. 83, No. 11, November 2000.
8. Yung B. Seo, Yang Jeon dkk, *Effect of Mechanical Impact Treatment on Fiber Morphology and Handsheet Properties*, Appita Journal, Vol. 55, No.6, 2002.