



BIODEINKING SORTED WHITE LEDGER (SWL) MENGGUNAKAN SELULASE

Chandra Apriana Purwita*, Sonny Kurnia Wirawan

Balai Besar Pulp dan Kertas
Jl. Raya Dayeuhkolot No. 132, Bandung

Diterima : 14 Juni 2017, Revisi akhir : 22 Desember 2017, Disetujui terbit : 30 Desember 2017

BIODEINKING SORTED WHITE LEDGER (SWL) BY CELLULASE

ABSTRACT

Biodeinking is a process of separating ink on the fiber surface by enzymes. This research was conducted to study and optimize biodeinking condition of sorted white ledger (SWL) by cellulase. Commercial cellulase (Sigma Aldrich, Singapore) at a dose of 0.25; 0.5; 0.75; 1; 2 U/g dry weight pulp was applied to the deinking of SWL and compared with blank. The deinked pulp was then analyzed for the fiber morphology and made laboratory hand sheets for the characterization of physical and optical properties. Based on the experiment, at the optimum dose of cellulase 0.75 IU/g dry weight pulp was obtained a maximum increasement of ISO brightness by 4.7 points and a decrease of ERIC by 34.45%. The use of cellulase on the biodeinking was not affecting the fibers length and diameter so the tensile and tear index of deinked pulp unchanged. Loss of fines by enzymatic degradation causes the tear index decreased by 8.70 % and porosity increased. The increasement of coarseness resulted in the decrease of pulp opacity.

Keywords: biodeinking, sorted white ledger (SWL), cellulase

ABSTRAK

Biodeinking merupakan proses pemisahan tinta pada permukaan serat menggunakan enzim. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari dan memperoleh kondisi optimum biodeinking sorted white ledger (SWL) menggunakan selulase. Selulase komersial (Sigma Aldrich, Singapura) dengan dosis 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2 U/g kering pulp diaplikasikan pada deinking SWL dan dibandingkan terhadap blanko. Pulp deinked yang diperoleh kemudian dilakukan analisis morfologi serat dan dibuat lembaran tangan laboratorium untuk karakterisasi sifat fisik dan optik. Berdasarkan percobaan, pada dosis optimum selulase 0,75 IU/g kering pulp diperoleh kenaikan derajat cerah ISO maksimum sebesar 4,7 poin dan penurunan ERIC 34,45%. Analisis morfologi serat menunjukkan penggunaan selulase pada proses biodeinking tidak berpengaruh terhadap panjang dan diameter serat sehingga indeks tarik dan retak pulp deinked tidak berubah. Kehilangan fines karena degradasi enzimatik menyebabkan indeks sobek turun sebesar 8,70% dan porositas naik. Naiknya nilai coarseness menyebabkan meningkatnya opasitas pulp deinked.

Kata kunci: biodeinking, sorted white ledger (SWL), selulase

PENDAHULUAN

Kebutuhan kertas dunia saat ini berkisar 394 juta ton dan diyakini akan terus tumbuh hingga 490 juta ton atau naik sebesar 24,4% pada tahun 2020. Konsumsi kertas dunia diramalkan tumbuh sebesar 2,1% per tahun, sedangkan pasar di negara-negara berkembang lebih tinggi yaitu sebesar 4,1% dan 0,5% di negara maju (Hariyanti, 2017).

Naiknya konsumsi kertas menyebabkan produksi pulp dan kertas semakin intensif yang membutuhkan sumber bahan baku yang terus meningkat. Untuk produksi pulp sebesar 6 juta m³ memerlukan bahan baku sekitar 27 m³, maka untuk pulp 394 juta ton membutuhkan bahan baku sebesar 1.773 juta ton (APKI, 2015). Keterbatasan pasokan kayu sebagai sumber bahan baku pembuatan pulp dan kertas menjadi masalah yang serius bagi keberlangsungan industri pulp dan kertas. Selain kayu, kertas daur ulang merupakan sumber bahan baku pada proses pembuatan kertas. Jika dibandingkan dengan kayu, kertas daur ulang memiliki keunggulan yaitu biayanya rendah dan membantu melindungi sumber daya hutan (konservasi hutan untuk kayu dan produknya). Oleh karena itu, daur ulang kertas menjadi sangat penting. Kertas daur ulang bisa menjadi solusi keterbatasan bahan baku kayu.

Tantangan utama penggunaan kertas daur ulang adalah memisahkan tinta dari serat. Proses pemisahan tinta dari permukaan kertas tersebut dikenal sebagai *deinking*. Pada *deinking* konvensional, bahan kimia digunakan untuk melepaskan tinta pada permukaan serat dan memperbaiki kualitas kertas daur ulang. Bahan kimia tersebut antara lain natrium hidroksida, natrium silikat, bahan pengkelat, hidrogen peroksida, pelarut, dan surfaktan. Penggunaan bahan kimia pada proses *deinking* konvensional menyebabkan beban IPAL dan biaya pengolahan air limbah menjadi meningkat. Selain itu, kekuatan kertas yang dihasilkan akan menurun (Wirawan, Rismijana and Hidayat, 2008)

Deinking menggunakan enzim atau disebut sebagai *biodeinking* dikembangkan untuk mengurangi penggunaan bahan kimia pada proses *deinking* konvensional (Saxena and Singh Chauhan, 2017). Hasil penelitian menunjukkan, aplikasi enzim pada proses *deinking* dapat menurunkan noda, meningkatkan kekuatan fisik serta derajat cerah pulp.

Meskipun *biodeinking* telah dilakukan menggunakan berbagai jenis bahan baku, namun

belum banyak penelitian yang telah dilakukan terhadap kertas *sorted white ledger* (SWL) yang terdiri atas campuran beberapa jenis kertas. *Sorted white ledger* adalah jenis kertas untuk didaur ulang yang tidak disalut (*uncoating*) terdiri atas serutan dan potongan kertas, serta potongan tepi buku. SWL juga termasuk kertas tulis atau *paper bond* yang dicetak atau tidak dicetak yang bebas dari *groundwood*. Kertas SWL merupakan salah satu jenis kertas yang sulit untuk dideinking karena SWL menggunakan *impact ink* seperti pada kertas *laser-printed* dan fotokopi yang merekat kuat pada permukaan serat (Singh *et al.*, 2012).

Diantara berbagai enzim yang telah digunakan, selulase merupakan enzim yang paling banyak digunakan dan terbukti efektif pada *biodeinking*. Selulase terbukti lebih efektif dibandingkan dengan xilanase pada *biodeinking* kertas fotokopi (Kumar and Satyanarayana, 2014). Pada *biodeinking laser printed paper*, selulase lebih baik dibandingkan esterase (Azmi and Him, 2016) dan lipase (Lee, Darah and Ibrahim, 2007). Meskipun demikian, penggunaan kombinasi selulase dan hemiselulase dapat meningkatkan efisiensi *biodeinking* (Dutt *et al.*, 2012). Pada *biodeinking laser printed paper*, kenaikan derajat cerah yang lebih tinggi yaitu sebesar 8,1 poin diperoleh pada *biodeinking* menggunakan selulase dibandingkan dengan lipase yang hanya mampu menaikkan derajat cerah sebesar 2,9 poin (Nik Raikhan Nik Him, Caroline Apau and Nurul Shafika Azmi, 2016).

Pektinase dan amilase biasanya digunakan bersamaan dengan enzim lainnya. Pektinase bekerja dengan mendegradasi pektin, sedangkan amilase mendegradasi amilum dan glikogen (Lasheva *et al.*, 2013). *Biodeinking old newspaper* (ONP) dengan lakase telah dilakukan oleh Gupta, Garg dan Capalash (2014). Hasilnya menunjukkan *biodeinking* dengan lakase meningkatkan derajat cerah sebesar 1,08 poin. Akan tetapi, *biodeinking* dengan lakase tidak cocok digunakan untuk kertas putih yang kandungan ligninnya sangat rendah.

Selulase merupakan kelompok enzim yang terdiri atas endoglukanase atau endo- β -D-glukanase (EC 3.2.1.4), selobiohirolase atau eksoglukanase (EC.3.2.1.91), dan β -glukosidase (EC.3.2.1.21). Endoglukanase merupakan enzim yang berperan pada hidrolisis ikatan internal β -1,4-glikosidik secara acak. Eksoglukanase bekerja dengan menghidrolisis selulosa dari ujung rantai menjadi unit selobiosa. Sedangkan

β -glukosidase yang mengubah selobiosa dan siklodekstrin menjadi glukosa (Das *et al.*, 2013).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mempelajari dan memperoleh kondisi optimum proses *biodeinking sorted white ledger* (SWL) menggunakan selulase. Dengan diperolehnya kondisi optimum proses *biodeinking* diharapkan dapat diaplikasikan pada skala industri.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Selulase yang digunakan adalah selulase komersial (EC Number 232-734-4) yang berasal dari *Aspergillus niger* diperoleh dari Sigma Aldrich, Singapura. Enzim berbentuk serbuk dan larut dalam air. Sebelum digunakan, enzim disimpan dalam lemari pendingin suhu 4 °C dan diuji aktivitas selulase dan kadar proteinnya. Aktivitas selulase ditentukan dengan metode DNS (Miller, 1959) sedangkan uji kadar protein dilakukan sesuai dengan Bradford (1976). Kertas yang digunakan pada percobaan adalah *sorted white ledger* (SWL) yang merupakan kertas cetak putih tanpa salut. Kertas SWL yang digunakan terdiri atas campuran kertas *laser printed*, fotokopi, *offset printed*, dan *bubble jet printed* yang tidak ditentukan komposisinya.

Metode

Penelitian dilakukan dalam 3 tahap yaitu uji aktivitas selulase dan kadar protein enzim, proses *biodeinking*, dan analisis pulp *deinked*. Uraian dari masing-masing tahap adalah sebagai berikut:

1. Uji Aktivitas Selulase dan Kadar Protein Enzim

Aktivitas selulase ditentukan dengan menginkubasi 25 μ L enzim dan 25 μ L CMC (Sigma Aldrich, Singapura) pada suhu 50 °C selama 30 menit. Reaksi dihentikan dengan menambahkan 50 μ L reagen 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) dan dipanaskan pada suhu 100 °C selama 10 menit. Larutan didinginkan pada suhu kamar dan diencerkan dengan akuades hingga 1000 μ L. Gula pereduksi ditentukan secara kalorimetri pada panjang gelombang 575 nm menggunakan glukosa sebagai standar (Miller, 1959).

Uji kadar protein dilakukan dengan metode (Bradford, 1976). Sebanyak 20 μ L

enzim ditambahkan 1 mL reagen Bradford kemudian diinkubasi selama 10 menit pada suhu ruang. Absorbansi contoh diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 595 nm. Kadar protein ditentukan menggunakan standar Bovine Serum Albumin (BSA). Aktivitas enzim dan kadar protein dinyatakan sebagai rata-rata dari tiga kali ulangan.

2. *Biodeinking*

Metode *biodeinking* sesuai dengan Purwita *et al.*, (2013). Tahapan *biodeinking* terdiri atas persiapan pulp, hidrolisis enzimatik, flotasi, dan pencucian pulp. Pulp disiapkan dengan cara merendam kertas SWL dengan akuades selama 10 menit kemudian diuraikan menggunakan hidropulper dengan konsistensi 3% hingga mencapai derajat kebebasan 300 \pm 20 CSF (*Canadian Standard Freeness*). Stok diencerkan dengan akuades hingga mencapai konsistensi 2% lalu diatur pH-nya hingga netral.

Tahap hidrolisis enzimatik dilakukan dalam penangas air dengan kondisi sesuai dengan Tabel 1. Kontrol diperlakukan dengan cara yang sama kecuali tanpa penambahan enzim. Setelah tahapan hidrolisis enzimatik selesai, enzim kemudian dideaktivasi dengan memanaskan pulp pada suhu 100 °C selama 10 menit. Pulp selanjutnya diencerkan hingga konsistensi 1% untuk tahapan flotasi.

Flotasi dilakukan pada penangas air yang sama dan dialirkan udara yang disuplai dari aerator yang dihubungkan dengan *mikroporous air stone sparger* pada bagian dasar penangas air yang berfungsi untuk mendispersikan gelembung udara. Cairan diaduk menggunakan disintegrator dengan kecepatan 300 rpm. Busa yang terbentuk pada bagian atas cairan kemudian dipisahkan selama proses flotasi. Setelah tahapan flotasi selesai, pulp ditampung dengan saringan 200 *mesh* kemudian dicuci dengan akuades mengalir. Semua percobaan dilakukan secara rangkap dua dan hasil eksperimen diwakili sebagai rata-rata.

3. Analisis Pulp *Deinked*

Kertas SWL yang telah dilakukan proses *biodeinking* selanjutnya disebut sebagai pulp *deinked*. Pulp *deinked* dianalisis morfologi serat dan sifat fisik dan optik. Untuk keperluan uji sifat fisik dan optik, pulp *deinked* dibuat menjadi lembaran tangan laboratorium dengan

Tabel 1. Kondisi Proses Bidodeinking

Persiapan pulp	
Konsistensi pulp	3%
Derajat kebebasan pulp	300±20 CSF
pH	7
Hidrolisis enzimatik	
Konsistensi pulp	2%
Dosis enzim	0 (blanko); 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2 U/g kering pulp
Waktu	30 menit
Suhu	50 °C
Flotasi	
Konsistensi pulp	1%
Surfaktan	Tween 80
Dosis surfaktan	0,6%
Dosis DTPA	0,2%
pH	6,5 - 7
Laju alir udara	3 L/menit
Temperatur	45 °C
Waktu	20 menit

gramatur 70 g/m² sesuai dengan SNI ISO 5269-1:2012. Sebelum dikarakterisasi, lembaran tangan laboratorium dikondisikan dalam kondisi terkontrol.

a. Analisis Morfologi Serat

Morfologi serat seperti panjang serat, diameter serat, *finer*, *coarseness*, *shape*, indeks dan sudut *kink* dianalisis menggunakan L&W Fiber Tester sesuai dengan SNI ISO 16065-2:2010.

b. Analisis Sifat Fisik dan Optik Lembaran Tangan Laboratorium Pulp Deinked

Lembaran tangan laboratorium pulp *deinked* diuji indeks tarik (SNI ISO 1924-2:2016), indeks retak (SNI ISO 2758:2011), indeks sobek (SNI ISO 1974:2016), porositas (SNI 0585.2:2009) dan kekasaran (SNI 0932.1:2008), opasitas (SNI ISO 2471:2014), derajat cerah ISO (SNI ISO 2470-1:2014), dan *Effective Residual Ink Concentration* (ERIC) (TAPPI T567 om-04). Hasil analisis dinyatakan sebagai rata-rata dari lima kali ulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Aktivitas Selulase dan Kadar Protein Enzim

Uji aktivitas selulase penting untuk dilakukan karena pada aplikasi *biodeinking*, dosis enzim diberikan berdasarkan unit aktivitas enzim terhadap berat kering pulp. Uji kadar protein dilakukan untuk menghitung aktivitas spesifik selulase. Aktivitas spesifik menunjukkan kemurnian enzim tersebut yaitu besarnya aktivitas enzim per jumlah protein yang terkandung dalam campuran enzim yang diuji. Aktivitas spesifik dihitung berdasarkan aktivitas dibagi kandungan protein enzim. Berdasarkan uji aktivitas dan kadar protein enzim, selulase yang digunakan pada penelitian memiliki aktivitas spesifik sebesar 0,3 U/mg. Aktivitasnya lebih rendah dari spesifikasi pabrikan yang tertera pada kemasan yaitu sebesar 0,8 U/mg. Penurunan aktivitas ini dimungkinkan karena selama proses pengiriman enzim tidak disimpan di lemari pendingin. Aktivitas selulase yang berasal jenis jamur yang sama yaitu *Aspergillus niger* pada *biodeinking laser printed paper* dilaporkan lebih tinggi yaitu 0,73 U/mL (Lee *et al.*, 2017).

Tabel 2. Hasil Uji Aktivitas Selulase

Contoh	Absorbansi rata-rata	Aktivitas (U/mL)
Selulase	0,5477	0,6±0,007

Tabel 3. Hasil Uji Kadar Protein Selulase

Contoh	Absorbansi rata-rata	Kadar protein (mg/mL)
Selulase	0,685	1,98±0,068

2. Analisis Morfologi Serat

Panjang serat, *finer*, *shape*, dan indeks *kink* memiliki pengaruh yang besar terhadap sifat lembaran kertas seperti indeks tarik, indeks sobek, formasi, porositas, dan *bulk* (Lu *et al.*, 2016). Pengaruh konsentrasi enzim terhadap morfologi serat ditunjukkan pada Tabel 4. Kenaikan dosis enzim tidak berpengaruh terhadap panjang maupun diameter serat. Hal ini disebabkan karena degradasi oleh enzim hanya terjadi pada permukaan serat. Akan tetapi, degradasi enzimatik tersebut menyebabkan kandungan *finer* turun. Hal ini sejalan dengan penelitian (Mayeli and Talaeipour, 2010) yang menyatakan bahwa jumlah *finer* dan fibril berkurang karena perlakuan enzim. Penggunaan enzim dengan dosis berlebihan harus dihindari karena hidrolisis oleh selulase pada *finer* dapat mengurangi kemampuan serat untuk membentuk ikatan antar serat (Sharada *et al.*, 2014).

Coarseness merupakan salah satu turunan dimensi serat yang penting untuk memprediksi sifat kertas. Massa relatif dinding sel serat atau berat serat (miligram) per satuan panjang dinyatakan sebagai *coarseness*. Bertambahnya dosis enzim menyebabkan bertambahnya *coarseness*. Nilai *coarseness* yang besar mengindikasikan bahwa serat semakin kaku, semakin sulit untuk melengkung dan tumpang tindih untuk membentuk ikatan antar serat (Sundblad, 2015). *Coarseness* mempengaruhi hampir semua pulp sifat seperti drainase, kekuatan basah dan sifat optik dari lembaran kering (Sridach, 2010). Nilai *coarseness* yang besar mengindikasikan lembaran kertas yang dihasilkan akan memiliki indeks tarik yang tinggi, area ikatan antar serat yang besar, serta akan ada lebih banyak serat per ton pulp (Watson and Bradley, 2009).

Serat dapat mengalami deformasi karena perlakuan tertentu seperti perlakuan kimia, mekanik maupun enzimatik. Untuk mengetahui deformasi serat salah satu cara adalah dengan mengukur indeks *kink* (Choi, Kim and Cho, 2016). *Kink* dapat diartikan sebagai perubahan arah serat secara tajam dan membentuk suatu sudut. Perlakuan SWL dengan selulase menyebabkan indeks *kink* turun dengan bertambahnya dosis enzim. Serat yang memiliki indeks *kink* yang rendah, serat tersebut akan lebih kaku dan sifat kertas akan lebih baik dibandingkan dengan serat yang fleksibel (Zhang *et al.*, 2011). Umumnya pulp dengan indeks *kink* yang rendah menghasilkan kekuatan tarik, retak dan kekakuan lentur yang lebih tinggi namun,

Tabel 4. Morfologi Serat Pulp *Deinked*

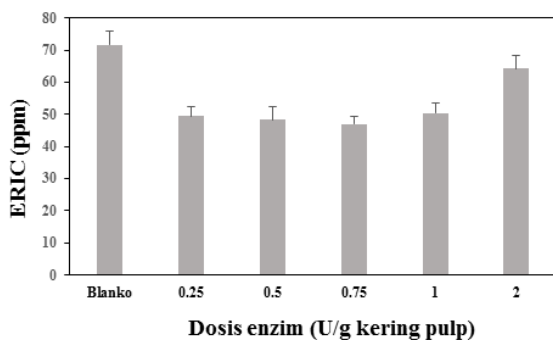
No	Parameter	Dosis enzim (U/g kering pulp)					
		0	0,25	0,5	0,75	1	1,5
1	Panjang serat (mm)	0,750±0,012	0,746±0,009	0,743±0,005	0,742±0,008	0,748±0,012	0,738±0,006
2	Lebar serat (µm)	18,300±0,1	18,300±0,1	18,200	18,300±0,2	18,300±0,2	18,200
3	<i>Fines</i> (%)	11,900±0,1	11,100±0,2	10,800±0,1	10,900±0,2	10,400±0,3	10,400±0,1
4	<i>Coarseness</i> (µg/m)	48,400±0,2	59,800±0,1	73,300±0,2	83,300±0,1	79,100±0,1	107,300±0,2
5	<i>Shape</i> (%)	89,549±0,1	90,021±0,3	90,483±0,2	90,558	90,506	90,841±0,1
6	Indeks <i>kink</i>	1,444±0,021	1,419±0,013	1,409±0,0058	1,363±0,035	1,344±0,046	1,374±0,023
7	Sudut <i>kink</i>	45,249±0,104	45,195±0,232	46,344±0,058	45,692±0,302	45,618±0,256	45,867±0,311

kekuatan sobek, *bulk*, porositas dan daya serap yang rendah (Sood *et al.*, 2005).

Nilai *shape* suatu serat menunjukkan seberapa lurus serat tersebut. Berdasarkan hasil analisis morfologi serat, perlakuan enzim pada SWL menyebabkan nilai *shape* naik yang artinya serat tersebut menjadi lebih lurus dan mendekati keadaan serat alami. Perubahan nilai *shape* dimungkinkan karena reaksi hidrolisis enzimatik terjadi lebih intensif pada bagian *kink* menyebabkan pada bagian tersebut menjadi lebih fleksibel sehingga serat lebih mudah mengalami perubahan bentuk. Hal ini diperkuat dengan data sudut *kink* yang mengalami kenaikan, mengindikasikan bahwa serat semakin lurus.

3. Analisis Sifat Fisik dan Optik Lembaran Tangan Laboratorium Pulp *Deinked*

Sisa tinta yang menempel pada permukaan serat dapat mempengaruhi warna dan derajat cerah kertas. Meskipun jumlahnya sedikit, namun dapat menyebabkan derajat cerah turun dan lembaran kertas berwarna coklat atau abu-abu. ERIC merupakan rasio koefisien penyerapan pulp atau kertas yang mengandung tinta, terhadap koefisien penyerapan tinta itu sendiri yang ditentukan pada panjang gelombang 950 nm. Unit ERIC dapat dinyatakan sebagai sebagai bagian per juta (ppm). ERIC tidak mengukur jumlah tinta yang menempel pada kertas, namun mengukur efek penggelapan yang disebabkan oleh partikel tinta. Aplikasi selulase pada *deinking* SWL mampu menurunkan nilai ERIC hingga 34,45%. Penurunan ERIC yang lebih tinggi diperoleh pada *biodeinking sorted office*



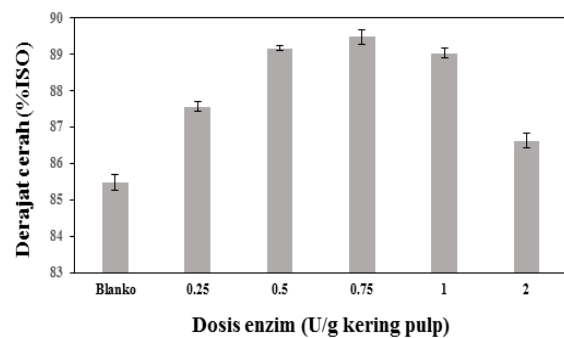
Gambar 1. Pengaruh Dosis Selulase pada *Effective Residual Ink Concentration* (ERIC) Pulp *Deinked*

paper (SOP) dengan dosis selulase yang lebih tinggi yaitu 6 IU/mL. ERIC turun hingga 61,85% (Dutt *et al.*, 2012).

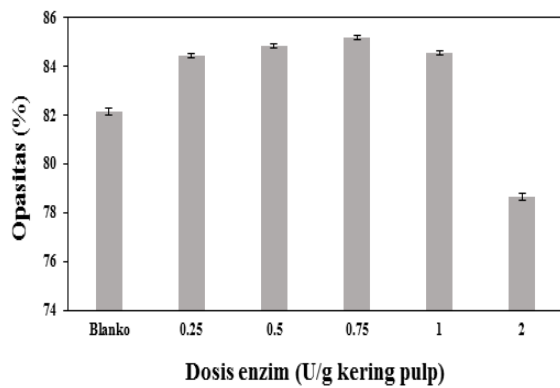
Penggunaan dosis selulase di atas 0,75 U/g kering pulp menyebabkan nilai ERIC naik. Hal ini dimungkinkan karena pada penggunaan dosis enzim yang tinggi, lembaran kertas berwarna lebih coklat yang disebabkan oleh warna media enzim yang menempel pada permukaan serat yang tidak hilang pada saat pencucian pulp.

Selain ERIC, derajat cerah pulp merupakan salah satu ukuran keberhasilan *deinking*. Penelitian sebelumnya menunjukkan penggunaan selulase pada proses *deinking* dapat menyebabkan hidrolisis pada serat selulosa sehingga dapat membantu proses pelepasan tinta pada permukaan serat kertas (Gil *et al.*, 2013). Lepasnya tinta pada permukaan serat menyebabkan derajat cerah pulp *deinked* naik, namun nilai kenaikan tersebut hanya terjadi sampai batas optimal dosis selulase 0,75 U/g kering pulp dengan kenaikan derajat cerah sebesar 4,7 poin. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan Dutt *et al.* (2012) pada *biodeinking sorted office paper* dengan selulase, kenaikan derat cerah sebesar 8,13 point pada penggunaan selulase dengan dosis 6 IU/mL. Serupa dengan hasil uji ERIC, pada penggunaan dosis selulase lebih dari 0,75 U/g kering pulp derajat cerah cenderung turun.

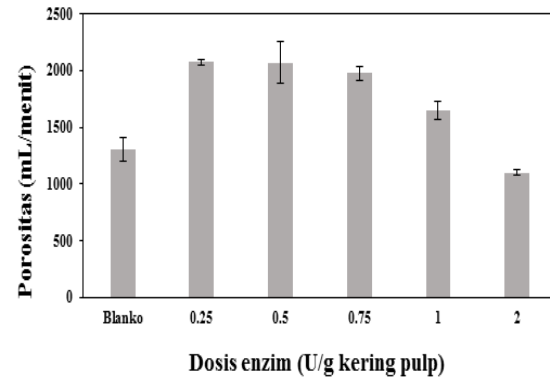
Opasitas dan porositas pulp *deinked* menunjukkan tren yang sama (Gambar 3 dan 4). Penambahan dosis selulase pada *biodeinking* SWL meningkatkan opasitas dan porositas sampai pada batas maksimum, setelah itu opasitas dan porositas akan terus turun. Hal ini diakibatkan karena penambahan selulase pada *biodeinking*



Gambar 2. Pengaruh Dosis Selulase terhadap Derajat Cerah Pulp *Deinked*



Gambar 3. Pengaruh Dosis Selulase terhadap Opasitas Pulp *Deinked*



Gambar 4. Pengaruh Dosis Selulase terhadap Porositas Pulp *Deinked*

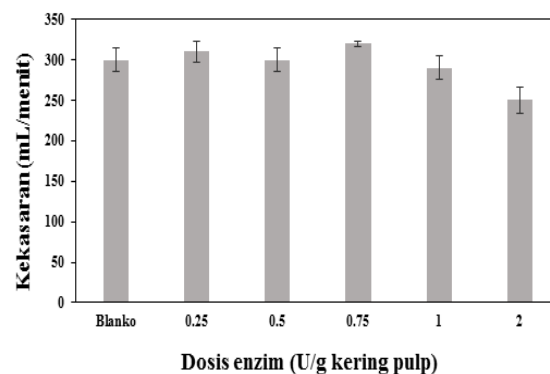
menyebabkan hidrolisis pada serat yang dapat meningkatkan fibrilasi permukaan serat (Gil *et al.*, 2013) yang dibuktikan dengan naiknya nilai *coarseness* yang berarti serat semakin kasar dan terfibrilasi. Hal ini dapat meningkatkan total area permukaan serat sehingga dapat meningkatkan nilai koefisien *scattering* yang pada akhirnya dapat meningkatkan nilai opasitas (Casey, 1981). Pada dosis enzim selulase 2% opasitas lembaran menurun karena fibril yang terbentuk akan terhidrolisis lebih lanjut menjadi glukosa yang larut dalam air yang akan mengurangi luas spesifik dan koefisien *scattering* sehingga dapat menurunkan nilai opasitas (Wirawan, Rismijana and Hidayat, 2008).

Porositas pulp *deinked* setelah penambahan enzim selulase cenderung mengalami peningkatan hingga dosis 0,5 U/g kering pulp. Hal ini disebabkan fraksi serat halus atau *fines* yang dapat menutupi ikatan antar serat terdegradasi sehingga meningkatkan nilai porositas lembaran (Wirawan, Rismijana and Hidayat, 2008). Pada dosis di atas 0,75 U/g kering pulp, porositas cenderung turun. Fenomena ini kemungkinan terjadi karena terbentuknya fibril-fibril baru yang berasal dari hidrolisis selulase pada permukaan serat yang kemudian fibril tersebut mengisi rongga antar serat.

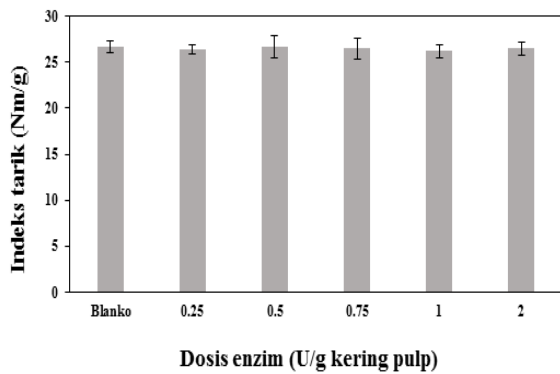
Karena selulase bekerja pada permukaan serat melalui aksi pengelupasan dan bekerja dengan menghidrolisis *fines*, nilai kekasaran pulp *deinked* cenderung turun dengan bertambahnya dosis enzim. Pada dosis rendah (di bawah 1 U/g kering pulp) nilai kekasaran pulp *deinked* tidak berubah, namun terjadi penurunan yang cukup berarti pada dosis tinggi.

Parameter penting yang menentukan kualitas pulp *deinked* adalah sifat fisik pulp tersebut. Penggunaan dosis enzim pada deinking kertas bekas harus dikendalikan sedemikian hingga pelepasan tinta pada serat maksimum, namun tidak mengurangi kualitas sifat fisik pulp *deinked*. Sifat fisik pulp *deinked* yang penting terutama indeks tarik, sobek, dan retak yang tersaji pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.

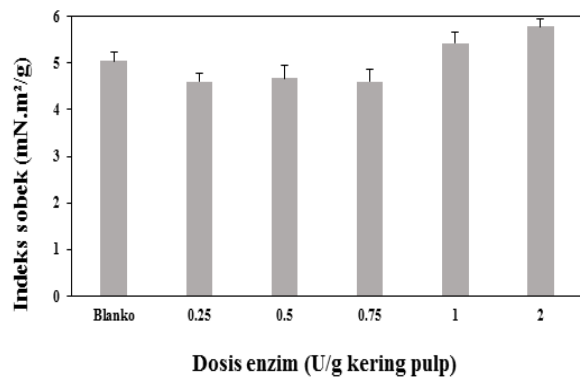
Nilai indeks tarik terutama dipengaruhi oleh panjang serat. Serat panjang akan menghasilkan nilai indeks tarik yang tinggi, begitu juga sebaliknya. Meskipun nilai *coarseness* cenderung naik yang mengindikasikan serat semakin kasar sehingga semakin mudah membentuk ikatan antar serat dan serat semakin kaku karena indeks *kink* cenderung turun, namun karena indeks tarik terutama dipengaruhi oleh panjang serat dan hidrolisis enzimatik terjadi pada permukaan serat saja sehingga indeks tarik pulp *deinked* tidak berubah



Gambar 5. Pengaruh Dosis Selulase terhadap Kekasaran Pulp *Deinked*



Gambar 6. Pengaruh Dosis Selulase pada Indeks Tarik Pulp *Deinked*



Gambar 7. Pengaruh Dosis Selulase pada Indeks Sobek Pulp *Deinked*

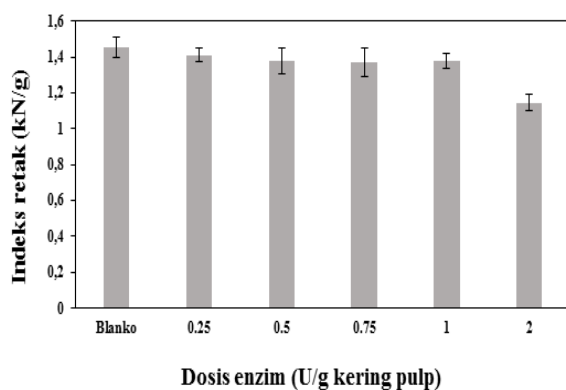
(Wirawan, Rismijana and Hidayat, 2008). Hasil ini sejalan dengan penelitian Dutt *et al.* (2012).

Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan bahwa penambahan enzim selulase pada dosis hingga 0,75 U/g kering pulp indeks sobek cenderung turun yang disebabkan karena kehilangan *finer* dan serat semakin kaku yang diindikasikan dengan turunnya nilai indeks *kink* (Sood *et al.*, 2005). Kenaikan nilai *coarseness* yang signifikan pada dosis enzim di atas 1U/g kering pulp menyebabkan indeks sobek naik. Meningkatnya nilai *coarseness* mengindikasikan bahwa serat semakin kasar yang akan menghasilkan ketahanan sobek yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat halus (Sridach, 2010). Selain itu, indeks sobek dipengaruhi oleh jumlah total serat yang terlibat dalam sobekan serat, panjang serat serta jumlah dan kekuatan ikatan antar serat (Wirawan, Rismijana and Hidayat, 2008).

Indeks retak pulp dipengaruhi oleh panjang serat. Serat panjang mampu membentuk ikatan antar serat yang lebih baik sehingga indeks retak pulp tinggi (Abudakr, Scott and Klungness, 1995). Panjang serat pulp *deinked* tidak berubah seperti yang terlihat pada Tabel 4 sehingga indeks retak *deinked* pulp tidak berubah pada perlakuan dosis selulase hingga 1 IU/g kering pulp. Meskipun penurunan indeks *kink* mengindikasikan pulp *deinked* akan menghasilkan indeks retak yang tinggi, akan tetapi kehilangan *finer* yang dapat membantu pembentukan ikatan antar serat menyebabkan indeks retak pulp *deinked* pada perlakuan konsentrasi selulase 2 U/g kering pulp turun sebesar 21%. Penurunan indeks retak pulp *deinked* juga terjadi pada *biodeinking laser-printed paper* dengan selulase. Indeks sobek turun sebesar 52% dibanding blanko (Lee *et al.*, 2017).

KESIMPULAN

Aplikasi selulase pada *biodeinking* SWL telah berhasil dilakukan dan diharapkan *biodeinking* SWL dengan selulase dapat dikembangkan sehingga mampu diaplikasikan di industri daur ulang kertas. Pada dosis optimum, yaitu sebesar 0,75 U/g kering pulp, diperoleh peningkatan derajat cerah maksimum sebesar 4,7 poin dan penurunan ERIC 34,45%. Penggunaan selulase pada *biodeinking* SWL tidak mempengaruhi panjang dan diameter serat karena degradasi enzimatik hanya terjadi pada permukaan serat, namun menyebabkan *finer* dan indeks *kink* turun serta *coarseness* meningkat. Panjang serat mempengaruhi kualitas sifat fisik pulp *deinked* terutama indeks tarik dan retak. Nilai



Gambar 8. Pengaruh Dosis Selulase pada Indeks Retak Pulp *Deinked*

indeks tarik dan indeks retak pulp *deinked* tidak berubah karena panjang serat tidak berubah. Kehilangan *finer* yang berfungsi sebagai pengisi rongga antar serat dan membantu membentuk ikatan antar serat menyebabkan indeks sobek pulp *deinked* pada dosis optimum turun sebesar 8,70% dan porositas naik. Meningkatnya fibril yang diindikasikan dengan meningkatnya nilai *coarseness* menyebabkan naiknya total area permukaan serat sehingga meningkatkan nilai koefisien *scattering* kemudian dapat meningkatkan nilai opasitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abudakr, M., Scott, G. M. and Klungness, J. H. (1995) 'Fiber fractionation as a method of improving handsheet properties after repeated recycling', *Tappi Journal -Recycling*, pp. 123–126.
- APKI (2015) 'Kebutuhan Kayu untuk Kertas Meningkatkan', *Media Indonesia*, 24 February.
- Azmi, N. S. and Him, N. R. N. (2016) 'Comparative evaluation of esterase and cellulase enzymatic deinking towards laser printed paper', in *Mechanical Engineering & Science Postgraduate International Conference*. Shah Alam, Selangor.
- Bradford, M. M. (1976) 'A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding', *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), pp. 248–254. doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3.
- Casey, J. P. (1981) *Pulp and Paper : Chemistry and Chemical Technology*. 3rd edn. New York: Wiley-Interscience.
- Choi, K. H., Kim, A. R. and Cho, B. U. (2016) 'Effects of alkali swelling and beating treatments on properties of kraft pulp fibers', *BioResources*, 11(2), pp. 3769–3782. doi: 10.15376/biores.11.2.3769-3782.
- Das, A. *et al.* (2013) 'Production of cellulolytic enzymes by *Aspergillus fumigatus* ABK9 in wheat bran-rice straw mixed substrate and use of cocktail enzymes for deinking of waste office paper pulp', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 128(September 2017), pp. 290–296. doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.080.
- Dutt, D. *et al.* (2012) 'Effect of enzyme concoctions on fiber surface roughness and deinking efficiency of sorted office paper', *Cellulose Chemistry and Technology*, 46(9–10), pp. 611–623.
- Gil, H. H. A. *et al.* (2013) 'Study of the enzymatic/neutral deinking process of waste photocopy paper', *O Papel*, 74(8), pp. 61–65.
- Gupta, V., Garg, S. and Capalash, N. (2015) 'Production of thermo-alkali-stable laccase and xylanase by co-culturing of *Bacillus sp.* and *B. halodurans* for biobleaching of kraft pulp and deinking of waste paper', *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 38(5), pp. 947–956. doi: 10.1007/s00449-014-1340-0.
- Hariyanti, D. (2017) *Kemenperin: Kualitas Kertas Bekas Lokal Rendah*. Available at : <http://www.kemenperin.go.id/artikel/11378/kuantitas-kertas-bekas-lokal-rendah> (Access ed: 4 December 2017)
- Kumar, V. and Satyanarayana, T. (2014) 'Production of endoxylanase with enhanced thermostability by a novel polyextremophilic *Bacillus halodurans* TSEV1 and its applicability in waste paper deinking', *Process Biochemistry*. Elsevier Ltd, 49(3), pp. 386–394. doi: 10.1016/j.procbio.2013.12.005.
- Lasheva, V. *et al.* (2013) 'Deinking of recycled paper with offset printing through flotation and use of enzymes', *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 48(5), pp. 530–534.
- Lee, C. K., Darah, I. and Ibrahim, C. O. (2007) 'Enzymatic deinking of laser printed office waste papers: Some governing parameters on deinking efficiency', *Bioresource Technology*, 98, pp. 1684–1689. doi: 10.1016/j.biortech.2006.05.052.
- Lee, K. C. *et al.* (2017) 'Evaluation of enzymatic deinking of non-impact ink laser-printed paper using crude enzyme from *Penicillium rolsfii* c3-2(1) IBRL', *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Applied Biochemistry and Biotechnology, 181(1), pp. 451–463. doi: 10.1007/s12010-016-2223-4.
- Lu, Z. *et al.* (2016) 'Characteristics of PPTA chipped fiber / hibrid and their properties for sheet making', *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 11(1), pp. 1–8.
- Mayeli, N. and Talaeipour, M. (2010) 'Effect of different HLB value and enzymatic treatment on the properties of old newspaper deinked pulp', *BioResources*, 5(4), pp. 2520–2534.
- Miller, G. L. (1959) 'Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar', *Analytical Chemistry*, 31(3), pp. 426–428. doi: 10.1021/ac60147a030.
- Nik Raikhan Nik Him, Caroline Apau and Nurul Shafika Azmi (2016) 'Effect of temperature and pH on deinking of laser-jet waste paper using commercial lipase and esterase', *Journal of Life Sciences and Technologies*, 4(2), pp. 79–84. doi: 10.18178/jolst.4.2.79-83.

- Purwita, C. A. *et al.* (2013) 'Endoglukanase rekombinan Egl-II sebagai agen biodeinking', in *Seminar Teknologi Pulp dan Kertas*. Bandung, 2-10-2013, pp. 111–118.
- Saxena, A. and Singh Chauhan, P. (2017) 'Role of various enzymes for deinking paper: a review', *Critical Reviews in Biotechnology*, pp. 598–612. doi: 10.1080/07388551.2016.1207594.
- Sharada, R. *et al.* (2014) 'Applications of cellulases – review', *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*, 4(2), pp. 424–437.
- Singh, A. *et al.* (2012) 'An ecofriendly cost effective enzymatic methodology for deinking of school waste paper', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 120, pp. 322–327. doi: 10.1016/j.biortech.2012.06.050.
- Sood, Y. V *et al.* (2005) 'Quality improvement of paper from bamboo and hardwood furnish through fiber fractionation', *Journal of Scientific and Industrial Research*, 64(4), pp. 299–305.
- Sridach, W. (2010) 'Pulping and paper properties of palmyra palm fruit fibers', *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 32(2), pp. 201–205.
- Sundblad, S. (2015) 'Predictions of pulp and paper properties based on fiber morphology'.
- Watson, P. and Bradley, M. (2009) 'Canadian pulp fibre morphology: superiority and considerations for end use potential', *Forestry Chronicle*, 85(3), pp. 401–408.
- Wirawan, S., Rismijana, J. and Hidayat, T. (2008) 'Aplikasi α -amilase dan selulase pada proses deinking kertas bekas campuran', *Berita Selulosa*, 43(1), pp. 11–18.
- Zhang, M. Y. *et al.* (2011) 'Effect of PPTA fiber morphology on the performance of paper-based functional materials', *Application of Chemical Engineering*. Trans Tech Publications, 236, pp. 1453–1456. doi: DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.236-238.1453.