

TEKNOLOGI BIOREFINING UNTUK PENGOLAHAN KERTAS BEKAS SEBAGAI BAHAN BAKU PADA PEMBUATAN KERTAS PELAPIS

BIOREFINING TECHNOLOGY FOR WASTE PAPER TREATMENT AS RAW MATERIAL IN PAPERMAKING OF KRAFT LINER

Rina Masriani¹, Taufan Hidayat¹, dan Jamaludin²

¹ Balai Besar Pulp dan Kertas

² Akademi Teknologi Pulp dan Kertas

E-mail: rina.masriani@gmail.com

Diajukan: 19/7/2012, Direvisi: 19/8/2012, Disetujui: 6/12/2013

ABSTRACT

Old corrugated carton (OCC) is used to substitute needle unbleached kraft pulp (NUKP) as a raw material in liner paper of corrugated carton. Disadvantages of using NUKP and OCC is a high energy consumption in the refining process. To reduce energy consumption in the refining process we use endoglucanase enzyme and exoglucanase enzyme were investigated as a modifier to improve the quality of paper. The results showed that endoglucanase reduce the refining time of NUKP by 40% and high quality of OCC by 50%. Compare to refining without enzyme, biorefining with endoglucanase on NUKP improve the formation of paper but reduced tensile index and burst index, while biorefining with endoglucanase on high quality of OCC increased burst index significantly (71%), and improved formation, but reduced 4% of tensile index. Paper sheet produced by exoglucanase treatment of NUKP increased tensile index and burst index. Paper sheet produced by exoglucanase treatment of high quality OCC improved 8% of tensile index, 43% of burst index, and formation. In conclusion, endoglucanase was promising candidate to reduce biorefining time of NUKP and high quality OCC and exoglucanase can use to treat fiber after biorefining.

Keywords : Biorefining, endoglucanase, exoglucanase, NUKP, OCC.

ABSTRAK

Kotak karton gelombang (KKG) bekas digunakan untuk menggantikan pulp virgin jenis pulp kraft serat panjang belum putih atau *needle unbleach kraft pulp* (NUKP) sebagai bahan baku kertas pelapis pada KKG. Kelemahan penggunaan pulp serat panjang adalah konsumsi energi yang tinggi pada proses *refining*. Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakan enzim endoglukanase untuk menurunkan energi *refining*. Enzim eksoglukanase digunakan sebagai pemodifikasi serat untuk memperbaiki mutu kertas yang dihasilkan. Perlakuan yang sama dilakukan pada NUKP sebagai pembanding. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa endoglukanase mereduksi waktu *refining* NUKP sebesar 40% dan KKG bekas sebesar 50% dibandingkan terhadap blanko. Biorefining dengan endoglukanase pada NUKP memperbaiki formasi tetapi menurunkan indeks tarik dan indeks retak, pada KKG bekas indeks retak naik secara signifikan yaitu sekitar 71%, formasi lembaran kertas yang dihasilkan membaik tetapi indeks tariknya turun sekitar 4%. Perlakuan NUKP dengan eksoglukanase meningkatkan indeks tarik dan indeks retak. Perlakuan KKG bekas kualitas tinggi dengan eksoglukanase menghasilkan lembaran kertas dengan indeks tarik yang meningkat sebesar 8%, perbaikan indeks retak sebesar 43% dan perbaikan formasi. Dengan demikian, endoglukanase berpotensi sebagai pereduksi waktu *biorefining* dan eksoglukanase dapat digunakan *pascabiorefining* untuk memperbaiki mutu kertas.

Kata kunci : Biorefining, endoglukanase, eksoglukanase, NUKP, KKG bekas.

PENDAHULUAN

Salah satu proses pada pembuatan kertas adalah proses *refining* pulp. Menurut Jacobs and IPST (2006), proses refining adalah pemakai energi tertinggi kedua (130 Tbtu) setelah proses drying (470 Tbtu). Berdasarkan konsumsi energi di bagian

stock preparation, *refining* mengkonsumsi 100-3000 kWh/t listrik (tergantung dari sifat kertas yang dibuat). Menurut Dina dan Elyani (2007), *biorefining* pada pulp serat panjang terputihkan dengan selulase komersial dapat memperbaiki formasi, derajat putih dan indeks tarik, sedangkan opasitas, porositas, dan indeks sobek

mengalami penurunan. Di Indonesia, pabrik kertas yang pernah menggunakan selulase untuk proses *refining* adalah Papier D'Mo Douit (PDM), pabrik kertas sigaret di Medan.

Isu pelestarian lingkungan mendorong pemanfaatan lebih banyak kertas bekas. Beberapa pabrik kertas produsen kertas pelapis di Indonesia telah menggunakan 100% kertas bekas. Penggunaan NUKP sebagai bahan baku kertas pelapis saat ini sudah berkurang sampai di bawah 10% dari jumlah bahan baku total. Semakin tingginya penggunaan kertas bekas di Indonesia dapat terlihat dari tingginya kebutuhan kertas bekas untuk industri kertas nasional pada tahun 2010, yaitu sekitar 6,7 juta ton per tahun, sekitar 4,3 juta ton dipasok dari pengumpulan kertas bekas lokal, sisanya sekitar 2,4 juta ton berasal dari kertas bekas impor (Dirjen IAK, 2011). Kertas bekas yang paling mudah dan paling banyak dikumpulkan adalah kardus.

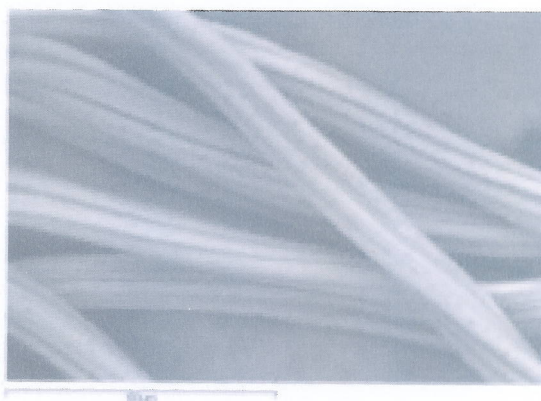
KKG dibentuk dari karton gelombang dan karton gelombang tersusun atas kertas pelapis dan kertas medium bergelombang. Bahan baku kertas pelapis adalah pulp virgin jenis pulp kraft serat panjang belum putih atau *needle unbleach kraft pulp* (NUKP) dan KKG bekas. Pada pembuatan kertas pelapis, substitusi NUKP dengan KKG bekas kualitas tinggi selain bertujuan untuk menerapkan teknologi ramah lingkungan juga untuk mengurangi biaya produksi karena harga NUKP saat ini di pasaran adalah 860-870 USD/ton sedangkan harga KKG bekas jauh lebih murah yaitu sekitar Rp. 2000/kg.

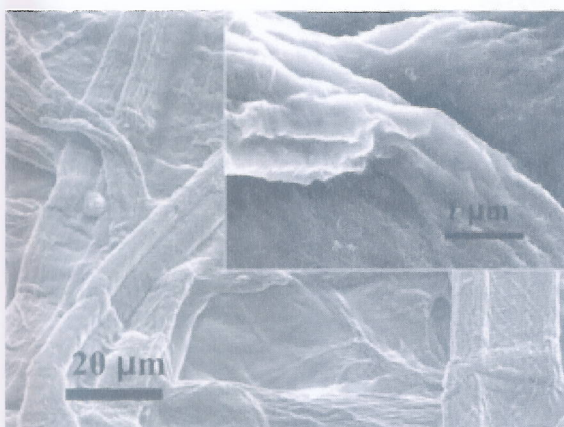
Selulase adalah enzim golongan hidrolase yang mengkatalisis pemutusan ikatan β -1,4-glikosidik pada selulosa. Berdasarkan tipe pemutusan ikatannya, selulase terbagi menjadi 3 jenis, yang pertama adalah endoglukanase, kedua eksoglukanase dan selobiohidrolase dan yang ketiga adalah β -glukosidase. Jika endoglukanase ditambahkan ke dalam stok pulp pada saat *refining*, enzim tersebut akan memutuskan ikatan β -1,4-glikosidik dari bagian tengah rantai selulosa secara acak pada permukaan serat yang telah dihidrasi sehingga *biorefining* akan mempermudah

dan mempercepat proses fibrilasi. Menurut Oyekola dkk (2007), eksoglukanase dapat meningkatkan kekuatan kertas dari bahan baku kertas bekas. Eksoglukanase bekerja pada bagian ujung rantai selulosa dan mengkatalisis terjadinya hidrolisis menjadi selulosa rantai lebih pendek dan selobiosa, mekanisme kerja eksoglukanase dalam memodifikasi serat kertas bekas sehingga dapat meningkatkan kekuatan kertas masih belum diketahui secara jelas. Pada penelitian ini digunakan endoglukanase dan eksoglukanase untuk proses *biorefining* dan modifikasi serat selulosa.

Bahan baku kertas adalah pulp yang komponen utamanya adalah serat-serat selulosa. Selulosa adalah polimer dari glukosa yang dihubungkan dengan ikatan β -1,4-glikosidik. Struktur primer rantai selulosa saling berikatan satu dengan yang lainnya membentuk struktur kristalin yang disebut dengan serat mikrofibril. Serat mikrofibril berdiameter antara 2–20 nm, tersusun atas 2000 molekul monomer, dan memiliki panjang 100–40000 nm. Serat mikrofibril ini bergabung membentuk fibril, dan gabungan fibril membentuk serat-serat selulosa. Selulosa tidak larut dalam kebanyakan pelarut (Sjöström, 1995).

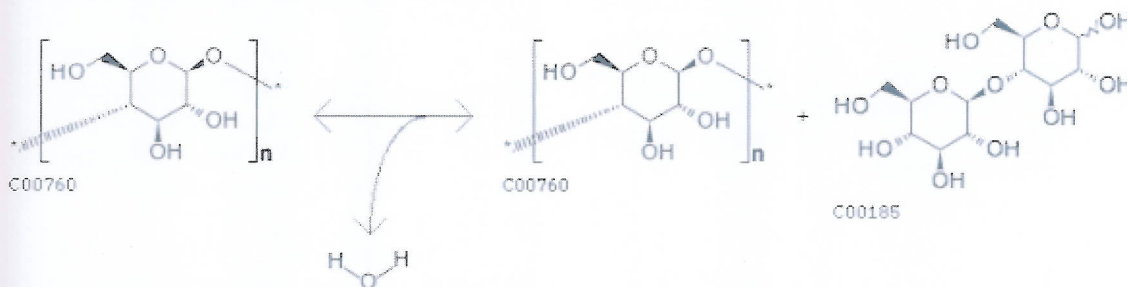
Berdasarkan asalnya, ada dua jenis serat selulosa, yaitu serat primer yang berasal dari pulp virgin dan serat sekunder yang berasal dari serat daur ulang, salah satunya adalah kertas bekas. Serat selulosa dari pulp virgin dan serat selulosa dari kertas bekas dapat dilihat pada Gambar 1.





Gambar 1. Serat selulosa dari pulp virgin (kiri) dan serat selulosa dari kertas bekas (kanan)

Selulase adalah enzim golongan hidrolase yang mengkatalisis pemutusan ikatan β -1,4-glikosidik pada selulosa. Berdasarkan tipe pemutusan ikatannya, selulase terbagi menjadi 3 jenis, yang pertama adalah endoglukanase (1,4- β -D-glukan-4-glukanohidrolase, EC 3.2.1.4),



Gambar 2. Mekanisme selulolisis

kedua eksoglukanase (termasuk selodekstrinase (1,4- β -D-glukan glukanohidrolase, EC 3.2.1.74), dan selobiohidrolase (1,4- β -D-glukan selobiohidrolase, EC 3.2.1.91)), dan yang ketiga adalah β -glukosidase (β -glukosida glukohidrolase, EC 3.2.1.21).

Pada mekanisme selulolisis yang diperlihatkan pada **Gambar 2**, endo-1,4- β -D-glukanase EC 3.2.1.4 menghidrolisis ikatan β -1,4-glikosidik dari dalam rantai selulosa, lisenin, dan sereal β -D-glukan menjadi selulosa dan selobiosa. Ekso-1,4- β -D-glukanase EC 3.2.1.91 atau selulosa β -1,4-selobiosidase (ujung non pereduksi) menghidrolisis ikatan β -1,4-glikosidik dari ujung non pereduksi rantai selulosa, dan

selotetraosa, menjadi selobiosa. Beberapa proses degradasi selulosa memerlukan aksi terkoordinasi enzim-enzim selulosom.

Menurut Dina dan Elyani (2007), *biorefining* pada pulp serat panjang terputihkan dengan selulase komersial dapat memperbaiki formasi, derajat putih dan indeks tarik, sedangkan opasitas, porositas, dan indeks sobek mengalami penurunan.

Substitusi pulp virgin dengan kertas bekas mempengaruhi mutu produk akhir. Menurut Pala (2001), perubahan mutu produk ini disebabkan oleh mutu serat yang rendah akibat panjang serat yang lebih pendek dan fleksibilitas serat yang lebih rendah dan ketahanan drainase yang lebih tinggi dari serat kertas bekas.

Beberapa teknik *upgradepaper* bekas telah diketahui, yaitu perlakuan dengan alkali, proses *refining/beating*, penggunaan aditif atau penambahan serat tanaman non kayu. Namun, keuntungan teknik-teknik tersebut

pada produksi kertas kadang-kadang masih terbatas karena teknik-teknik tersebut tidak menjamin peningkatan ketahanan kertas dan kemampuan drainase pulp yang simultan. Penggunaan enzim menjanjikan alternatif lain (Pala, 2001).

Menurut teori "Efek mengelupas" Pommier et al. (1989), perbaikan drainase akan berhenti dan sifat mekanik kertas mulai menurun secara dramatis pada suatu titik tertentu. Menurut Dienes (2006) efek perlakuan dengan selulase pada sifat serat sekunder tidak dapat diprediksi berdasarkan sumbernya (fungal selulase atau bakterial selulase), berat molekul, dan struktur molekulnya (memiliki *cellulose binding domain* atau tidak).

Aktivitas enzim selulase dan hemiselulase pada komponen serat dapat menyebabkan peningkatan ikatan antar serat dan menurunkan interaksi serat-air. Mekanismenya belum sepenuhnya dipahami. Karena itu diperlukan pengetahuan lanjutan tentang interaksi "kompleks serat-enzim" dan lebih banyak data tentang pengaruh perlakuan enzimatis pada sifat pulp dan kertas, dalam rangka mengembangkan desain rasional *upgrade* serat secara enzimatis.

Masalah yang muncul pada penggunaan NUKP dan KKG bekas kualitas tinggi adalah penggunaan energi yang tinggi pada proses *refining*. Selain itu, pada penggunaan KKG bekas kualitas tinggi terjadi masalah penurunan mutu kertas.

Tujuan penelitian ini adalah menurunkan waktu *refining* dengan cara penambahan endoglukanase dan memperbaiki mutu kertas yang dihasilkan melalui perlakuan dengan eksoglukanase. Penelitian ini dibatasi pada biorefining pulp virgin jenis NUKP dan kertas bekas jenis KKG bekas kualitas tinggi, menggunakan jenis selulase yang lebih spesifik yaitu endoglukanase. Eksoglukanase digunakan untuk meningkatkan mutu kertas dengan cara memodifikasi serat.

METODE

Bahan yang digunakan sebagai pulp virgin adalah NUKP atau *needle unbleach kraft pulp* (pulp kraft belum putih serat panjang) dari salah satu pabrik kertas di Indonesia, kertas bekas, pada penelitian ini digunakan *old corrugated carton* (OCC) atau kotak karton gelombang (KKG) bekas grade A, akuadest, *demineral water*, endoglukanase komersial dan eksoglukanase komersial beserta data aktivitasnya.

Alat-alat yang digunakan adalah neraca dengan ketelitian 0,01 g, *hydropulper*, termometer, *beater*, alat uji derajat giling metode *Canadian Standard Freeness*, *handsheet former* semi otomatis, perlengkapan gelas dan plastik untuk keperluan pembuatan *stock*, alat uji ketahanan tarik, alat uji ketahanan retak.

Sampel NUKP dan KKG bekas dipersiapkan untuk proses *biorefining*. Persiapan ini meliputi penggilingan, pembuatan bubur pulp dan pengukuran *freeness* awal. Sebelum penggilingan, sampel pulp ini diinkubasi menggunakan endoglukanase dan eksoglukanase. Selain itu dilakukan perlakuan blanko, yaitu perlakuan tanpa menggunakan enzim dan perlakuan kontrol, yaitu perlakuan dengan menggunakan enzim yang telah didenaturasi. Pada saat penggilingan dengan perlakuan enzim atau *biorefining*, angka *freeness* diukur untuk setiap jeda waktu penggilingan tertentu. Bubur pulp yang telah mengalami perlakuan dengan enzim, dan telah diukur angka *freeness*, selanjutnya dibuat lembaran skala laboratorium. Lembaran yang dihasilkan, diuji indeks tarik, indeks retak dan formasi.

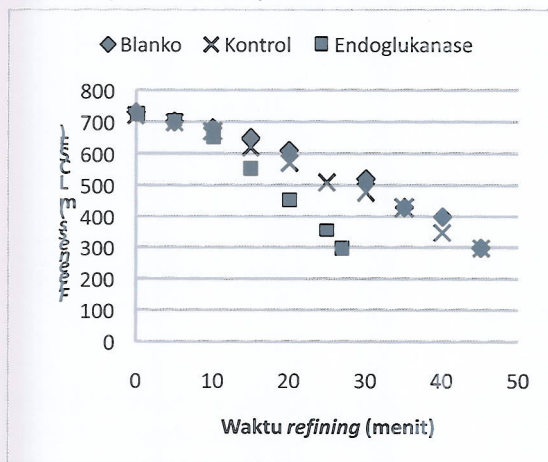
Dosis enzim yang digunakan adalah 0,1 Unit enzim per gram oven dried pulp. Satu unit aktivitas enzim didefinisikan sebagai jumlah enzim yang melepaskan 1 μ mol gula pereduksi (glukosa) per menit. Setiap perlakuan dengan enzim dikerjakan dua kali (*duplo*). Blanko adalah perlakuan tanpa enzim dan kontrol adalah perlakuan dengan enzim yang telah dinaktivasi dengan cara pendidihan. Variabel yang diamati adalah perubahan waktu *biorefining*.

Pengukuran angka *freeness* dilakukan dengan mengacu pada metode SNI ISO 5267-2:2008 Pulp - Cara uji kemampuan drainase—Bagian 2: metode *Canadian Standard Freeness* (CSF). Penentuan nilai indeks tarik mengacu pada metode SNI ISO 1924-2: 2010, IDT Kertas dan karton – Cara uji sifat tarik – Bagian 2 : Metode kecepatan elongasi tetap, *Paper and board – Determination of tensile properties – Part 2 : Constant rate of elongation method*. Penentuan nilai indeks retak mengacu pada metode SNI ISO 2758:2001, IDT Karton- Cara uji ketahanan retak, *Paper – Determination of bursting strength*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *biorefining* NUKP dengan endoglukanase

Refining pulp secara mekanik meliputi proses hidrasi, fibrilasi, pemotongan, penyikatan serat, pembentukan *fines*, dan pembentukan debris koloidal. Pengaruh endoglukanase terhadap waktu *refining* NUKP diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh endoglukanase terhadap waktu *refining* NUKP.

Dari Gambar 3 terlihat bahwa endoglukanase secara signifikan mempercepat waktu *refining* NUKP. Waktu *refining* yang diperlukan hanya 27 menit dibandingkan 45 menit untuk perlakuan tanpa enzim, berarti endoglukanase mereduksi waktu *refining* sebesar 40% dibandingkan blanko. Dengan berkurangnya waktu yang diperlukan untuk *refining*, berarti akan diperoleh efisiensi energi yang dikonsumsi pada proses pembuatan kertas, karena *refining* merupakan tahap yang memerlukan energi tinggi. Jadi endoglukanase merupakan enzim yang dapat digunakan untuk menurunkan waktu *refining* NUKP. Perlakuan kontrol adalah perlakuan *refining* menggunakan endoglukanase yang telah diinaktivasi dengan cara pendidihan. Proses inaktivasi berhasil menghentikan kerja enzim terhadap proses *refining*, ditunjukkan dengan tidak adanya perbedaan *freeness* antara blanko dan kontrol. Blanko adalah perlakuan tanpa enzim.

Menurut KEGG (2010),

endoglukanase adalah enzim yang menghidrolisis ikatan β -1,4-glikosidik dari dalam rantai selulosa menjadi selulosa dan selobiosa. Karena proses pemotongan dilakukan dari dalam rantai, maka enzim ini akan membantu proses fibrilasi serat selulosa dan pemotongan rantai selulosa yang panjang sehingga target *freeness* pada proses *refining* menjadi lebih cepat tercapai.

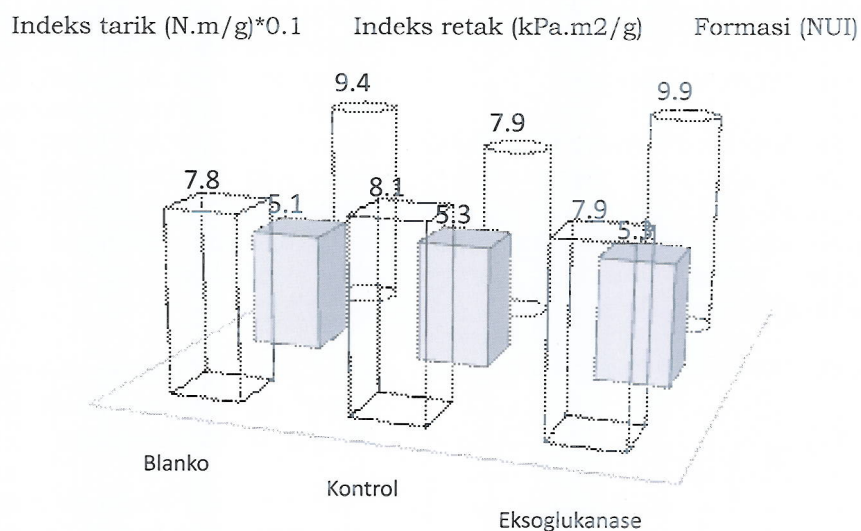
Sifat fisik lembaran kertas dari NUKP yang dihasilkan melalui perlakuan dengan endoglukanase

Sifat fisik lembaran kertas dari NUKP yang dihasilkan melalui perlakuan dengan endoglukanase yang diamati meliputi indeks tarik, indeks retak dan formasi, yang ditampilkan pada Gambar 4. Nilai indeks tarik dan indeks retak menentukan kekuatan KKG yang merupakan parameter mutu KKG (Markstorm, 2005). Nilai indeks retak berhubungan dengan kekuatan kertas saat kardus diisi beban sedangkan nilai indeks tarik berhubungan dengan keadaan saat kardus ditumpuk. Sedangkan formasi menunjukkan ukuran ketidakseragaman distribusi serat yang dinyatakan dalam satuan NUI atau *nonuniformity index*. Semakin kecil nilai NUI, ukuran ketidakseragaman distribusi serat makin kecil artinya formasi serat makin baik.

Pada Gambar 4 tampak bahwa perlakuan dengan endoglukanase menurunkan indeks tarik dan indeks retak tetapi memperbaiki formasi. Indeks tarik turun dari 78 N.m/g menjadi 62 N.m/g, indeks retak dari 5,1 kPa.m²/g menjadi 4,1 kPa.m²/g, dan formasi membaik dari 9,4 NUI menjadi 5,1 NUI. Dengan demikian, perlakuan endoglukanase mereduksi waktu *refining* tetapi dengan kompensasi adanya penurunan indeks tarik dan indeks retak.

Sifat fisik lembaran kertas dari NUKP yang dihasilkan melalui perlakuan dengan eksoglukanase

Sifat fisik lembaran kertas dari NUKP yang dihasilkan melalui perlakuan dengan eksoglukanase ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai indeks tarik, indeks retak dan formasi lembaran kertas yang dihasilkan melalui perlakuan dengan eksoglukanase.

Pada Gambar 5 tampak bahwa perlakuan NUKP dengan eksoglukanase meningkatkan indeks tarik (dari 78 N.m/g menjadi 79 N.m/g) dan indeks retak (dari 5,1 kPa.m²/g menjadi 5,3 kPa.m²/g) tetapi memperburuk formasi (dari 9,4 NUI menjadi 9,9 NUI) dari lembaran kertas yang dihasilkan.

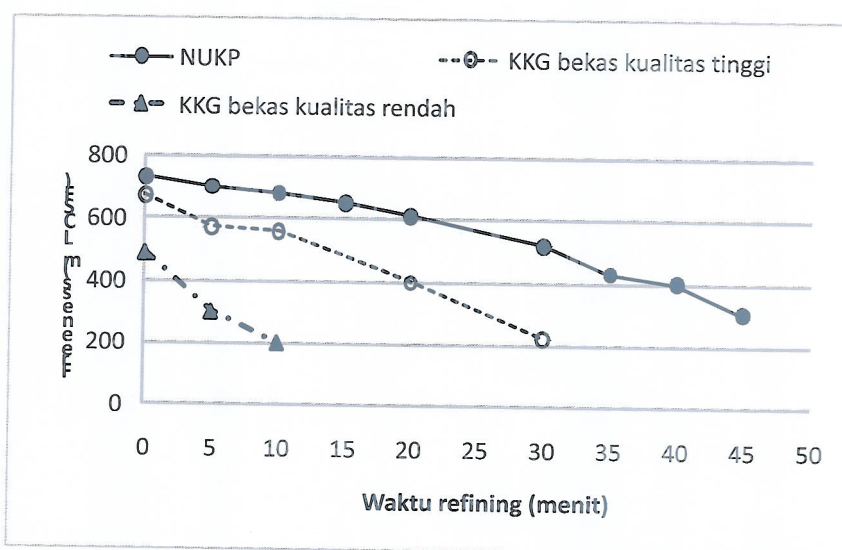
Dengan demikian, untuk memperbaiki kekuatan yang turun sebagai akibat kompensasi efisiensi *refining* dengan endoglukanase, eksoglukanase dapat digunakan untuk meningkatkan kembali sifat lembaran kertas dari NUKP. Karena mekanisme kerjanya yang memotong serat selulosa dari bagian ujung non pereduksi (KEGG, 2010), nampaknya enzim ini memperbaiki sifat lembaran dengan cara mengurangi debris koloidal dan *finer*. Penambahan enzim ini sebaiknya dilakukan pada pasca refining.

Hasil *biorefining* KKG bekas dengan endoglukanase

Pada pembuatan kertas pelapis, untuk mengurangi atau menghilangkan penggunaan NUKP dengan tetap menjaga mutu kertas yang dihasilkan, NUKP diganti dengan KKG bekas kualitas tinggi atau di beberapa pabrik dikenal dengan sebutan KKG bekas grade A. Berdasarkan hasil

survey ke beberapa pabrik *converter* kertas liner dan kertas medium menjadi KKG, pembagian grade KKG didasarkan pada mutu dan kegunaannya. Grade KKG tertinggi adalah KKG yang digunakan untuk kemasan margarine atau tembakau, grade kedua adalah kemasan oli, grade ketiga kemasan makanan (coklat), grade keempat merupakan kemasan yang umum, grade kelima untuk kemasan mie instan atau makanan ringan dan grade terendah adalah untuk *divider* atau pemisah gelas di dalam kemasan gelas. Sedangkan menurut SNI 14-1439-2009, persyaratan mutu karton gelombang dan KKG didasarkan pada jenis karton gelombang dan gramturnya. Perbedaan profil hubungan waktu penggilingan dengan angka *freeness* dari NUKP, KKG bekas kualitas tinggi (KKG bekas grade A atau grade pertama) dan KKG bekas kualitas rendah (KKG bekas kemasan mie instan) dapat dilihat pada Gambar 6.

Freeness didefinisikan sebagai pengujian untuk mengukur laju penghilangan air dari suspensi pulp encer (SNI ISO 5267-2:2008). Ada dua metode pengukuran *freeness*, metode *Canadian Standard Freeness* dinyatakan dalam mL CSF dan metode Schopper-Riegler yang dinyatakan dalam derajat SR (°SR).

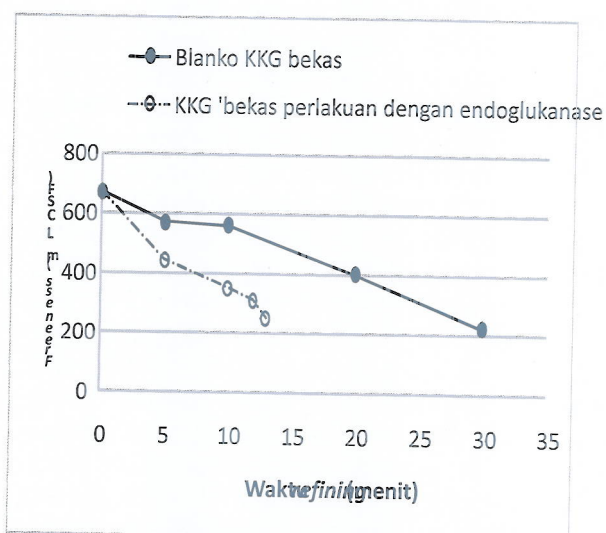


Gambar 6. Perbedaan profil hubungan waktu penggilingan dengan angka *freeness* dari NUKP, KKG bekas kualitas tinggi (KKG bekas grade A atau grade pertama) dan KKG bekas kualitas rendah (KKG bekas kemasan mie instan).

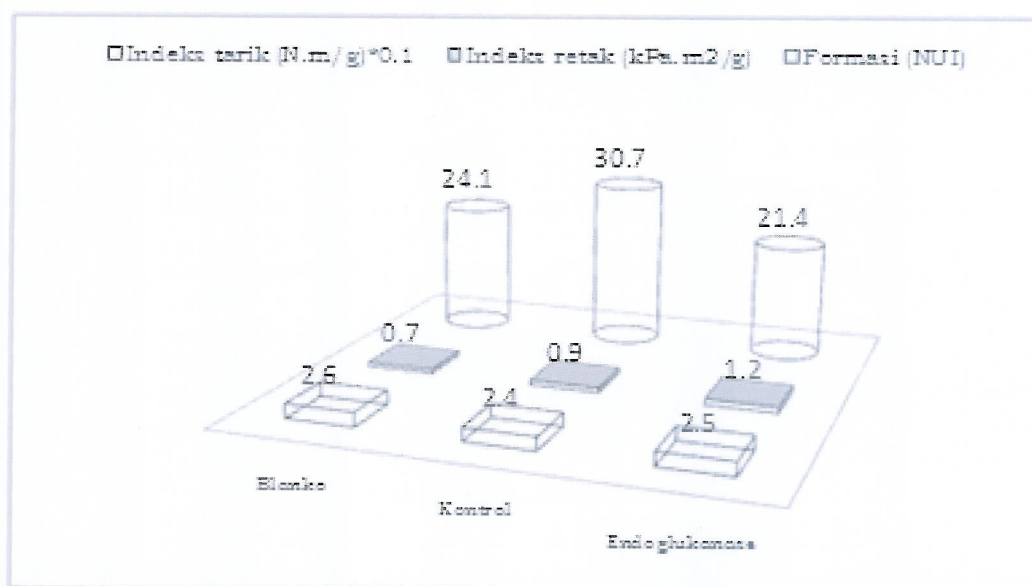
Prinsip pengujian *freeness* adalah berdasarkan kecepatan turunnya air yang keluar dari tabung alat uji *freeness*. Air yang kurang tertahan oleh pulp, akan turun dengan cepat, dan keluar dari lubang samping lebih banyak jika dibandingkan air yang turun dengan lambat. Angka *freeness* banyak digunakan untuk melacak perubahan laju penghilangan air pulp dari berbagai reaksi kimia selama penguraian dan *refining*. Kemampuan penghilangan air ini berhubungan dengan kondisi permukaan dan pengembangan serat dan dapat menggambarkan perlakuan mekanik yang dialami pulp.

Berdasarkan Gambar 6 nampak bahwa KKG bekas memiliki angka *freeness* yang lebih rendah daripada NUKP. Semakin rendah mutu KKG semakin rendah pula angka *freeness*-nya. Hal ini menunjukkan serat KKG bekas menahan air lebih lama dibandingkan serat NUKP, artinya bagian selulosa amorf pada KKG bekas lebih banyak dibandingkan pada serat NUKP. KKG bekas grade A memerlukan waktu *refining* 33% lebih cepat dibandingkan NUKP, tetapi masih memerlukan tahap *refining* dengan waktu yang cukup lama. Di pabrik kertas, berbagai jenis kertas bekas masuk ke dalam *hydropulper* namun ketika akan masuk ke *refiner*, melalui tahap fraksinasi terlebih dulu sehingga akan

terpisah antara serat yang masih memerlukan tahap *refining* tinggi dan tahap *refining* rendah. KKG bekas grade A yang masih memerlukan tahap *refining* tersebut ketika diberi perlakuan dengan endoglukanase, 50% waktu *refining* direduksi, seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Biorefining KKG bekas grade A dengan endoglukanase.



Gambar 8. Nilai indeks tarik, indeks retak dan formasi lembaran kertas dari KKG bekas yang dihasilkan melalui perlakuan dengan endoglukanase.

Sifat fisik lembaran kertas dari KKG bekas yang dihasilkan melalui perlakuan dengan endoglukanase

Sifat fisik lembaran kertas dari KKG bekas yang dihasilkan melalui perlakuan dengan endoglukanase ditampilkan pada Gambar 8.

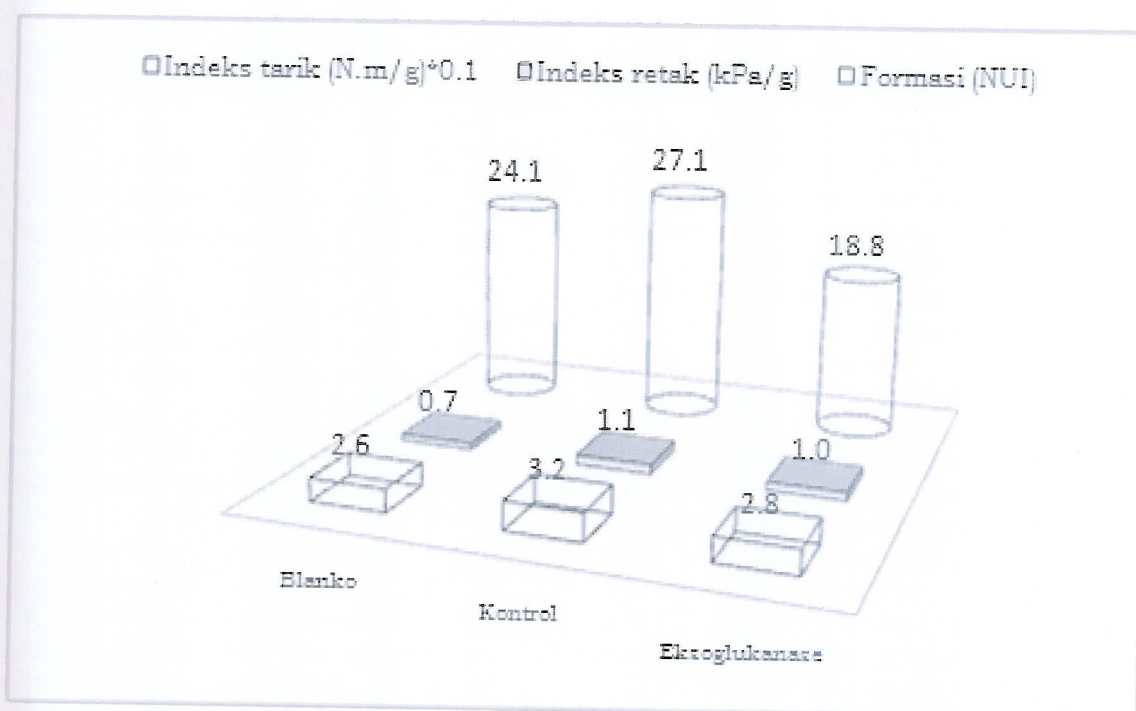
Perlakuan dengan endoglukanase terhadap serat NUKP dan KKG bekas menghasilkan sifat lembaran kertas yang berbeda. Pada lembaran kertas dari NUKP, endoglukanase menurunkan indeks tarik dan indeks retak tetapi memperbaiki formasi sedangkan pada lembaran kertas dari KKG bekas, endoglukanase sedikit menurunkan indeks tarik dari 26 N.m/g menjadi 25 N.m/g , meningkatkan indeks retak secara signifikan dari 0,7 $\text{kPa m}^2/\text{g}$ menjadi 1,2 $\text{kPa m}^2/\text{g}$, dan memperbaiki formasi dari 24,1 NUI menjadi 21,4 NUI (Gambar 8). Penurunan indeks tarik disebabkan oleh pemotongan serat selulosa di bagian dalam rantai selulosa oleh endoglukanase, pemotongan terjadi di semua jenis serat, baik serat panjang maupun serat pendek, karena pada penelitian ini tidak dilakukan fraksinasi serat berdasarkan panjang seratnya sebelum perlakuan serat dengan endoglukanase. Perbaikan sifat indeks retak terjadi karena endoglukanase menghidrolisis di bagian selulosa amorf dari permukaan serat. Kemudian karena sifat struktur serat yang

sama, serat-serat yang mengandung bagian selulosa kristalin bergabung bersama membentuk flok dan pada saat pembentukan lembaran, penggabungan ini menyebabkan orientasi serat menjadi lebih seragam, formasi membaik dan ikatan antar serat meningkat (Masriani, 2011).

Sifat fisik lembaran kertas dari KKG bekas yang dihasilkan melalui perlakuan dengan eksoglukanase

Sifat fisik lembaran kertas dari NUKP yang dihasilkan melalui perlakuan dengan eksoglukanase ditampilkan pada Gambar 9.

Pada Gambar 9. tampak bahwa perlakuan dengan eksoglukanase meningkatkan indeks tarik (dari 26 N.m/g menjadi 28 N.m/g), indeks retak (dari 0,7 $\text{kPa m}^2/\text{g}$ menjadi 1,0 $\text{kPa m}^2/\text{g}$) dan memperbaiki formasi (dari 24,1 NUI menjadi 18,8 NUI). Dengan demikian, untuk memperbaiki indeks tarik yang turun sebagai akibat kompensasi efisiensi *refining* dengan endoglukanase, eksoglukanase dapat digunakan untuk meningkatkan kembali indeks tarik lembaran kertas dari KKG bekas. Eksoglukanase bekerja dengan cara memotong serat selulosa dari bagian ujung non pereduksi (KEGG, 2010), nampaknya



Gambar 9. Nilai indeks tarik, indeks retak dan formasi lembaran kertas dari KKG bekas yang dihasilkan melalui perlakuan dengan eksoglukanase.

enzim ini memperbaiki sifat lembaran dengan cara mengurangi debris koloidal dan *finer*. Penambahan enzim ini sebaiknya dilakukan pada pasca refining.

Aspek Teknologi

Teknologi yang diaplikasikan pada penelitian ini adalah teknologi *biorefining* dan modifikasi serat skala laboratorium.

Aspek Ekonomis

Dalam penelitian ini belum dilakukan kajian teknoekonomi karena proses yang dilakukan masih terbatas pada skala laboratorium.

Keunggulan/Kemungkinan diterapkan di Industri

Prospek untuk diterapkan di Industri cukup baik mengingat hasil yang dicapai pada skala laboratorium cukup signifikan. Namun demikian, riset ini masih perlu dikembangkan untuk mendapatkan metode inaktivasi enzim yang optimum, dan metode produksi enzim yang ekonomis baru kemudian dikaji secara rinci aspek teknoekonominya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Endoglukanase mereduksi waktu *refining* NUKP sebesar 40% dibandingkan blanko. Perlakuan blanko atau *refining* tanpa endoglukanase memerlukan waktu 45 menit, sedangkan dengan endoglukanase hanya memerlukan waktu 27 menit. *Biorefining* dengan endoglukanase menurunkan indeks tarik dan indeks retak tetapi memperbaiki formasi. Indeks tarik turun dari 78 N.m/g menjadi 62 N.m/g , indeks retak dari 5,1 $\text{kPa.m}^2/\text{g}$ menjadi 4,1 $\text{kPa.m}^2/\text{g}$, dan formasi membaik dari 9,4 NUI menjadi 5,1 NUI. Perlakuan NUKP dengan eksoglukanase tidak mengubah waktu *refining*, namun meningkatkan indeks tarik (dari 78 N.m/g menjadi 79 N.m/g) dan indeks retak (dari 5,1 $\text{kPa.m}^2/\text{g}$ menjadi 5,3 $\text{kPa.m}^2/\text{g}$) tetapi memperburuk formasi (dari 9,4 NUI menjadi 9,9 NUI) dari lembaran kertas yang dihasilkan.

Pada pembuatan kertas pelapis, untuk mengurangi atau menghilangkan penggunaan NUKP dengan tetap menjaga

mutu kertas yang dihasilkan, NUKP diganti dengan KKG bekas kualitas tinggi. Perlakuan dengan endoglukanase mereduksi 50% waktu *refining* KKG bekas kualitas tinggi. Lembaran kertas yang dihasilkan indeks tariknya turun dari 26 N.m/g menjadi 25 N.m/g, indeks retaknya naik secara signifikan dari 0,7 kPa m²/g menjadi 1,2 kPa. m²/g, dan formasi membaik dari 24,1 NUI menjadi 21,4 NUI. Proses *biorefining* KKG bekas kualitas tinggi sebaiknya dilakukan setelah serat melalui proses fraksinasi, inkubasi dengan endoglukanase dilakukan pada fraksi serat panjang. Perlakuan KKG bekas kualitas tinggi dengan eksoglukanase menghasilkan lembaran kertas dengan indeks tarik yang meningkat (dari 26 N.m/g menjadi 28 N.m/g), perbaikan indeks retak (dari 0,7 kPa m²/g menjadi 1,0 kPa m²/g) dan perbaikan formasi (dari 24,1 NUI menjadi 18,8 NUI).

Endoglukanase dapat digunakan untuk mereduksi waktu *refining* dan eksoglukanase pascarefining untuk memperbaiki mutu kertas.

Saran

Perlu kajian lebih lanjut untuk mengembangkan metode inaktivasi endoglukanase dan eksoglukanase serta metode produksi enzim yang ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Casey, J. P. 1981. *Pulp and paper, Chemistry and chemical technology*. Third edition. Volume 3. John Wiley & Sons, Inc.
- Dienes, D. 2006. Effect of cellulase enzymes on secondary fiber properties. Ph. D. Thesis. Budapest University of Technology and Economics. Hungaria.
- Dina, S. F. dan Elyani, N. 2007. Biorefining sebagai salah satu teknologi alternatif pada proses penggilingan serat. *Berita Selulosa*, 42(1).
- Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia (Dirjen IAK). 2011. *Roadmap Industri Kertas*, Kementerian Perindustrian, Jakarta.
- Jacobs and IPST. 2006. *Pulp and Paper Industry, Energy Bandwidth Study*. American Institute of Chemical Engineers, USA.
- K E G G . Reaction . http://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?reaction+R02886+R06200. (5 Oktober 2011).
- Markström, H. 2005. *Testing Methods and Instruments for Corrugated Board*. AB Lorentzen & Wettre. Swedia.
- Masriani, R. 2011. Aplikasi Rekombinan Endoglukanase Egl-II untuk Modifikasi Serat Kertas Bekas, Tesis, Institut Teknologi Bandung.
- Oyekola, O. O., Ngesi, N., and Whitelet, C. G. 2007. Isolation, Purification and Characterisation of An Endoglucanase and B-Glucosidase from An Anaerobic Sulphidogenic Bioreactor, *Enzyme and Microbial Technology*. No. 40, 637-644.
- Pala, H. , Lemos, M. A., Mota, M. , and Gama, F. M. 2001. Enzymatic upgrade of old paperboard containers. *Enzyme and Microbial Technology*. No. 29, 274-279.
- Pommier, J. C., J. L. Fuentes, G. Goma. 1989. Using enzymes to improve the process and the product quality in the recycled paper industry—Part 1: the basic laboratory work, *Tappi Journal*. 72(6). 187–191.
- Puspitawati, F. 2009. Penapisan, Isolasi dan Karakterisasi Selulase dari Bakteri Laut. Tesis. Institut Teknologi Bandung.
- Sjöström, E. 1995. *Kimia Kayu, Dasar-dasar dan Penggunaan*. Penerjemah: Dr. Hardjono Sastroamindojo. Gajah Mada University Press.
- Smook, G. A. 2002. *Handbook For Pulp and Paper Technologist*, Third Edition, Angus Wilde Publication Inc.