

## **PENINGKATAN KUALITAS SERAT SEKUNDER DENGAN PERLAKUAN ENZIM DAN POLIMER**

Tri Wahyudi Widiastono<sup>\*</sup>, Hawasul Zen M.<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>PT Kertas Letjes

<sup>\*\*</sup>PT. Indah Kiat Pulp and Paper

### ***QUALITY IMPROVEMENTS OF SECONDARY FIBERS BY ENZIM AND POLIMER TREATMENTS***

#### **ABSTRACT**

*Research on enhancement of deinked pulp (DIP) freeness, is conducted by using cellulase along with polyacrylamide. The cellulase dosage varies at 0 - 0.3 %, and polyacrylamide 0 - 0.1%, based on bone dry pulp weight. Reaction time is set at 30 minutes with the temperature at 50 °C. The result showed that the improvement freeness accompanied by the improvement of tensile strength, tear resistance, and porosity, but bursting strength and whiteness slightly decrease. Optimum improvements of paper quality due to enhancement of DIP, are reached by using 0.2% cellulase and 0.05% polyacrylamide.,*

*Keyword : secondary fiber, deinked pulp, freeness, cellulase, polyacrylamide*

#### **INTISARI**

Penelitian ini dilakukan pada stok deinked pulp (DI) untuk meningkatkan derajat giling dengan menggunakan selulase yang dipadukan dengan poliakrilamida. Dosis selulase divariasikan pada 0-0,3% dan poliakrilamida 0-0,1%, per berat kering pulp. Sedangkan waktu reaksi ditentukan 30 menit dengan suhu reaksi 50°C. Hasil penelitian menunjukkan kenaikan derajat giling disertai dengan peningkatan sifat ketahanan tarik, sobek, dan porositas. Sementara ketahanan retak dan derajat putih mengalami sedikit penurunan. Pada penggunaan selulase 0,2% dan poliakrilamida 0,05% kinerja DIP meningkat sedemikian sehingga kualitas kertas optimal.

Kata kunci : serat sekunder, deinked pulp, derajat giling, selulase, poliakrilamida

#### **PENDAHULUAN**

Peningkatan konsumsi kertas dan karton yang terus terjadi dari tahun ke tahun, menyebabkan industri pulp dan kertas di Indonesia dituntut untuk meningkatkan produksinya. Meskipun demikian potensi hutan sebagai sumber bahan baku akan semakin berkurang jumlahnya, sehingga akan menjadi kendala bagi kelangsungan produksi industri pulp dan kertas. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan memanfaatkan serat sekunder sebagai substitusi serat alam. Serat sekunder ini dapat diperoleh dengan cara daur ulang kertas bekas.

Penggunaan serat daur ulang sebagai bahan baku dalam industri pulp dan kertas akan memberikan beberapa keuntungan,

seperti harganya yang lebih murah, stabilitas dimensi yang tinggi dan formasi lembaran yang dihasilkan lebih baik. Keuntungan lain dari penggunaan serat daur ulang ini adalah berkurangnya pemakaian serat alam sehingga biaya produksi lebih rendah, mengurangi sampah dan polusi pada lingkungan, serta energi yang dipakai untuk proses daur ulang lebih rendah dibandingkan dengan pembuatan pulp serat alam.

Namun dibalik keuntungan tersebut, terdapat beberapa kerugian dari penggunaan serat daur ulang, seperti kekuatan dan kecerahan lembaran yang dihasilkan lebih rendah. Selain itu derajat giling (*freeness*) pulp serat daur ulang lebih rendah dari derajat giling pulp serat alam, sehingga akan membatasi kecepatan operasi mesin kertas. Hal ini disebabkan oleh sifat afinitas *finer* terhadap air yang tinggi akibat memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar, sehingga air

lebih sulit untuk dipisahkan. Dengan masih banyaknya air dalam serat, maka akan memperberat kinerja mesin kertas pada tahap pengepresan dan pengeringan, yang selanjutnya berakibat pada konsumsi energi yang tinggi. Untuk meningkatkan laju drainase dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain penambahan serat alam, bahan kimia perentensi, dan enzim.

Banyaknya isu lingkungan yang bersifat global membuat industri pulp dan kertas dituntut untuk melakukan pengembangan yang mengarah pada teknologi ramah lingkungan. Salah satu teknologi ramah lingkungan yang dapat dikembangkan adalah penerapan bioteknologi, yaitu dengan penggunaan enzim *selulase* untuk memperbaiki kualitas serat sekunder. Enzim ini dapat mengendalikan kandungan *finer* yang banyak terdapat pada serat daur ulang.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Bahan Baku Pembuatan Kertas**

Bahan baku utama dalam pembuatan kertas adalah serat selulosa. Serat selulosa dapat diperoleh dari serat alam (*virgin pulp*) dan serat sekunder (*waste paper*). Karakteristik dan komposisi serat yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas akan sangat mempengaruhi kualitas kertas yang dihasilkan.

Serat alam dapat diperoleh dari tumbuhan berkayu (*wood*) dan bukan kayu (*non wood*), sedangkan serat sekunder diperoleh dari hasil daur ulang kertas bekas. Saat ini serat daur ulang menjadi bagian yang sangat penting dalam industri pulp dan kertas. Selain menjadi sumber serat yang murah, dapat juga menjaga pemakaian hutan di dunia yang semakin menipis, mengurangi pencemaran lingkungan dan menjaga keberadaan sumber air dan energi.

Penggunaan serat daur ulang dari kertas bekas (serat sekunder) berkembang sejalan dengan perkembangan teknologi dan pertimbangan ekonomi, serta semakin terbatasnya sumber daya alam dalam penyediaan serat. Serat sekunder mempunyai beberapa sifat khas yang penting. *Felton* (1980) menyatakan bahwa sifat khas serat sekunder yang penting adalah stabilitas dimensi yang tinggi, *curl* rendah, formasi lembaran yang baik jika ditambahkan bahan pengisi, opasitas cetak yang dicapai akan lebih

tinggi. Namun demikian ada juga beberapa kelemahan serat sekunder yaitu diantaranya adalah kekuatan yang lebih rendah, kecerahan yang rendah, warna tidak seragam dan adanya kontaminan atau pengotor. Secara umum kandungan kotoran kurang dari 1%.

Menurut *Smith* dan *Bunker* (1993), penggunaan serat sekunder dalam proses pembuatan kertas cenderung akan menimbulkan deposit mikrobiologi pada mesin kertas sehingga *runnability* mesin menjadi terganggu, drainase menjadi lambat serta akan menimbulkan korosi pada mesin kertas. Selain itu akan mempengaruhi sifat-sifat penampilan lembaran kertas yang dihasilkan.

### **Enzim dan Polimer**

Enzim terdapat dalam seluruh organisme hidup seperti mikroorganisme, tumbuh-tumbuhan dan binatang serta terdapat juga dalam tubuh manusia. Bagaimanapun juga molekul enzim bukan merupakan organisme yang hidup sendiri. Enzim merupakan biokatalis yang terdapat dalam metabolisme sel makhluk hidup yang sering dipakai sebagai katalis untuk mempercepat suatu reaksi kimia. Biasanya nama enzim diakhiri dengan nama "ase" yang berarti untuk menunjukkan senyawa yang mengalami perubahan dalam reaksi, seperti *xylanase*, *cellulase* dan *pectinase*. Penyusun kimia enzim adalah protein. Enzim seperti juga halnya protein, akan lebih stabil pada konsentrasi larutannya, tapi dapat berubah jika terjadi perubahan pH atau adanya perubahan temperatur pada larutannya.

Sejak tahun 1970, industri pulp dan kertas telah menggunakan beberapa proses bioteknologi, diantaranya untuk *bio-mechanical pulping*, modifikasi sifat serat, deinking, dan meningkatkan kecepatan drainase. Selama proses daur ulang kertas bekas, stok mengalami penurunan kualitas. Kualitas stok yang turun ini dapat diperbaiki dengan jalan yang ramah lingkungan, yaitu dengan penambahan *selulase*.

Penambahan enzim pada stok akan mengakibatkan meningkatnya derajat giling. Hal ini disebabkan karena enzim menghidrolisa substrat yang akhirnya bercampur dengan larutan sehingga kandungan *finer* pada stok menjadi berkurang sehingga mengakibatkan laju drainase menjadi meningkat. Selama reaksi enzim menghidrolisa komponen-komponen serat halus (*finer*) sehingga terlepas dari permukaan serat. *Fines* memiliki sifat afinitas terhadap air, dengan berkurangan kandungan *finer* dalam stok maka derajat giling yang dihasilkan mengalami

peningkatan. Hal ini disebabkan karena enzim, seperti yang dikemukakan oleh *Pomier et al*, sangat suka menyerang partikel koloid atau menguraikan koloid yang terdapat pada suspensi stok, sehingga koloid tersebut akan terpecah dan berkurang, mengakibatkan drainase stok menjadi lebih mudah.

Sedangkan *Lee* dan *Kim* menyatakan bahwa mekanisme peningkatan derajat giling dari serat sekunder yang mengalami perlakuan dengan enzim adalah reaksi antara enzim dengan permukaan serat yang menimbulkan efek pengelupasan (*peeling effect*), yaitu pemutusan rantai-rantai pendek molekul gula pada serat kertas bekas. Jika *peeling effect* dibatasi atau diatur, maka enzim ini hanya akan menyerang dan menghilangkan komponen-komponen kecil seperti serat-serat halus (*finer*) yang memiliki sifat afinitas terhadap air, sehingga akan mengurangi interaksi antara air dengan serat-serat yang ada. Sehingga akan meningkatkan laju drainase stok tanpa menurunkan sifat fisik dari lembaran yang dihasilkan.

Adapun poliakrilamida yang ditambahkan setelah stok mengalami perlakuan dengan enzim berperan sebagai peretensi dari partikel-partikel serat halus (*finer*) yang terlepas dari serat dan belum terkonversi serta masih terdapat di dalam stok. Flok-flok halus dihasilkan melalui proses jembatan partikel (*particle bridging*) dari polimer. Terbukti bahwa setelah stok mengalami perlakuan dengan dosis enzim, polimer dan waktu reaksi tertentu dapat meningkatkan derajat giling.

Untuk meningkatkan drainase, penggunaan polimer dapat dipadukan dengan penggunaan enzim tersebut. Penambahan polimer pada stok yang sudah ditambahkan enzim akan menghasilkan lembaran dengan formasi yang seragam, karena polimer itu sendiri berfungsi sebagai peretensi dengan menahan partikel-partikel kecil yang tidak atau belum terkonversi sehingga partikel tersebut tidak terbawa oleh air pada saat berlangsung drainase. Dengan penambahan polimer, maka hasil yang didapat akan lebih baik jika dibandingkan dengan tanpa tambahan polimer.

Biasanya bila hanya digunakan enzim saja maka peningkatan laju drainase yang diharapkan tercapai, namun banyak partikel yang lolos bersama dengan air pasi (*white water*) karena tidak teretensi dengan baik pada lembaran

## **BAHAN DAN METODA**

Pada penelitian ini, bahan baku yang digunakan adalah *sorted white ledger* (SWL) lokal yang terlebih dahulu dilakukan proses *deinking* untuk menghilangkan tinta dari pulp. *Deinked pulp* SWL diuraikan di dalam *niagara beater* pada konsistensi 1,5% hingga mencapai derajat giling 270 mL CSF, kemudian dipekatkan hingga konsistensi 4%. Selanjutnya dimasukkan ke dalam *erlenmeyer* 600 mL dan ditutup dengan *aluminium foil* untuk menjaga agar volume stok konstan selama proses pemanasan yang dilakukan di *water bath*, yaitu sampai tercapai suhu 50°C. Penambahan *selulase* divariasikan 0%; 0,1%; 0,2% dan 0,3% per berat kering stok. Waktu reaksi ditentukan 30 menit, sedangkan pH 6-7.

Setelah waktu reaksi tercapai, selanjutnya pada tiap *erlenmeyer* dilakukan penambahan air dingin (air es dengan suhu  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) untuk menghentikan laju aktifitas enzim. Penambahan poliakrilamida dengan dosis 0%; 0,05% dan 0,1% dilakukan setelah suhu stok  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ . Selanjutnya diuji derajat gilingnya dengan alat uji *Canadian Standard Freeness* (CSF). Dan untuk menambah ketelitian hasil pengujian ini, dilakukan koreksi terhadap konsistensi dan temperatur stok.

Stok yang telah mengalami perlakuan *selulase* dan polimer selanjutnya dibuat lembaran tangan 60 gr/m<sup>2</sup>, dipres, dikeringkan, dikondisikan dan dilakukan pengujian sifat kekuatan dan optik.

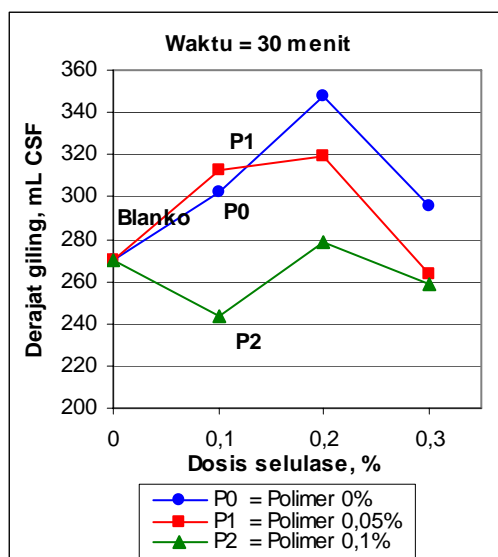
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Derajat Giling.**

Derajat giling merupakan salah satu sifat yang penting untuk mengetahui tingkat fibrilasi dan kemudahan sifat pengeluaran air (*dewatering*) dari lembaran pulp basah. Pengukuran dilakukan dengan metoda CSF. Untuk mendapatkan nilai derajat giling yang tepat maka dilakukan koreksi terhadap konsistensi dan suhu stok saat pengujian derajat giling.

Berdasarkan hasil uji derajat giling seperti yang terlihat pada Gambar 1, menunjukkan bahwa dengan perlakuan *selulase* saja dapat meningkatkan derajat giling, awalnya derajat giling akan mengalami kenaikan, kemudian mengalami penurunan ketika dosis *selulase* bertambah. *Selulase* mendegradasi serat halus (*finer*) dan fibril yang terdapat pada permukaan serat, sehingga derajat giling naik. Adapun pengaruh penambahan poliakrilamida juga terlihat

dengan semakin bertambahnya dosis akan menurunkan derajat giling, terbukti dengan turunnya derajat giling pada variasi dosis P2 dibandingkan dengan variasi dosis P0 dan P1. Hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya dosis poliakrilamida akan membuat flok-flok yang berlebih. Kenaikkan derajat giling yang optimal diperoleh pada dosis *selulase* 0,2% dan polimer 0%.



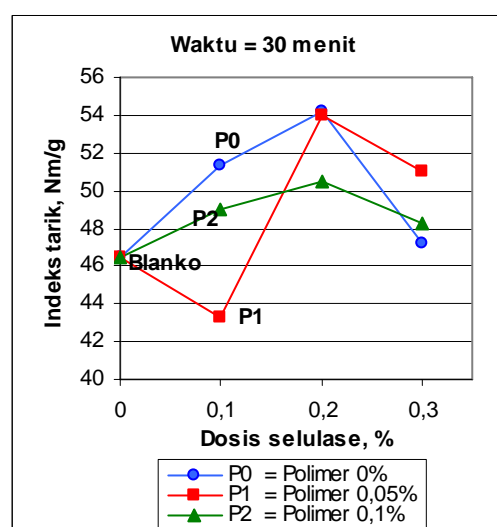
Gambar 1. Derajat Giling (*Freeness*)

### Indeks Tarik

Faktor yang mempengaruhi ketahanan tarik lembaran adalah ikatan atau jalinan antar serat, panjang serat dan kandungan *finer*. Peningkatan jumlah dan kualitas ikatan atau jalinan antar serat akan meningkatkan ketahanan tarik lembaran, begitu pula dengan panjang serat yang lebih tinggi akan menghasilkan ketahanan tarik yang lebih baik. Sedangkan jika kandungan *finer* yang tinggi cenderung menurunkan ketahanan tarik lembaran, dikarenakan jalinan atau ikatan antar serat semakin berkurang. Untuk melihat perubahan kualitas serat pada lembaran tanpa dipengaruhi oleh jumlah serat, maka digunakan indeks tarik, yaitu nilai ketahanan tarik dibagi dengan gramatur.

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa dengan perlakuan *selulase* saja dapat meningkatkan indeks tarik, kemudian akan mengalami penurunan ketika dosis *selulase* menjadi 0,3%. Ini terlihat setelah dosis 0,2% indeks tarik akan turun kembali. Jumlah *selulase* yang berlebih menyebabkan degradasi terhadap serat akan lebih banyak. Peristiwa

degradasi ini lebih dulu akan menyerang permukaan serat terluar, dalam hal ini fibril-fibril yang ada. Dengan berkurangnya fibril akan menurunkan kualitas ikatan antar serat dan juga jumlah ikatan antar serat sehingga menurunkan indeks tarik lembaran. Sedangkan pengaruh dari polimer terlihat dengan adanya penurunan indeks tarik yang disebabkan bertambahnya dosis polimer, terlihat pada nilai indeks tarik pada dosis P2. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pembentukan flok yang berlebih sehingga formasi lembaran yang dihasilkan kurang baik. Terbukti pada dosis *selulase* 0,3% dan polimer 0,1% dapat menurunkan indeks tarik lembaran.



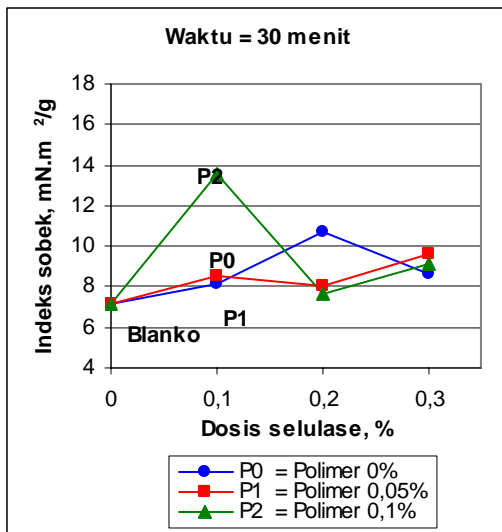
Gambar 2. Indeks Tarik

Peningkatan indeks tarik yang optimal diperoleh dari dosis *selulase* 0,2% dan 0% polimer. Penambahan *selulase* lebih lanjut yaitu sebesar 0,3% akan menurunkan kembali indeks tarik meskipun nilainya masih lebih besar dibandingkan dengan blanko.

### Indeks Sobek

Sifat ketahanan sobek tergantung pada jumlah serat yang berada dalam lembaran, panjang serat dan jumlah serta kekuatan ikatan antar serat. Dengan demikian, secara langsung gramatur turut menentukan nilai ketahanan sobek.

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa seluruh variasi *selulase* dan polimer meningkatkan indeks sobek. Untuk *selulase* saja akan cenderung meningkatkan indeks sobek dan akan menurun ketika dosis *selulase* menjadi 0,3%.



Gambar 3. Indeks Sobek

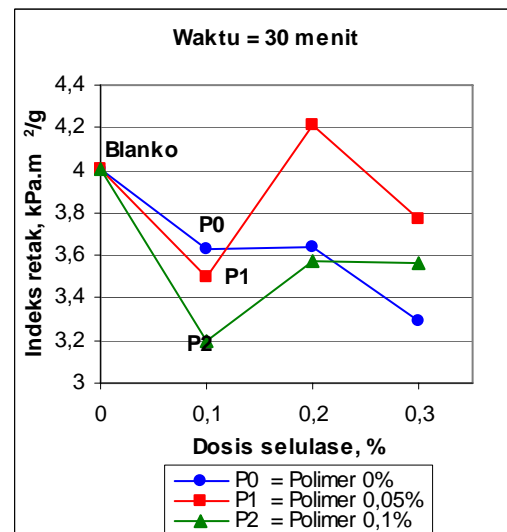
Peningkatan indeks sobek ini disebabkan dengan hilangnya *fines* akan membersihkan fibril-fibril akan meningkatkan kualitas ikatan antar serat akibatnya indeks sobek meningkat. Sedangkan penambahan polimer akan cenderung meningkatkan indeks sobek seiring dengan banyaknya *selulase*. Hal ini disebabkan karena polimer akan menambah jumlah ikatan antar serat sehingga indeks sobek meningkat. Peningkatan indeks sobek yang optimal diperoleh pada variasi dosis *selulase* 0,1% dan 0,1% polimer.

### Indeks Retak

Faktor yang mempengaruhi ketahanan retak antara lain panjang serat, ikatan antar serat, penggilingan dan formasi lembaran. Peningkatan panjang serat akan meningkatkan ketahanan retak, tetapi ketahanan retak lebih dipengaruhi oleh ikatan antar serat yang terbentuk melalui proses penggilingan yang dilakukan pada stok. Makin besar ikatan antar serat akan menaikkan densitas (lebih padat) dan makin baik formasi lembaran maka ketahanan retak suatu lembaran makin tinggi.

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa hampir seluruh variasi dosis *selulase* dan polimer cenderung menurunkan indeks retak lembaran di bawah blanko, kecuali pada variasi dosis *selulase* 0,2% dan 0,05% polimer. Hal ini kemungkinan disebabkan karena penambahan polimer yang mempunyai berat molekul yang tinggi menghasilkan terbentuknya flokulasi yang berlebih dan keseragaman ikatan antar serat yang kurang

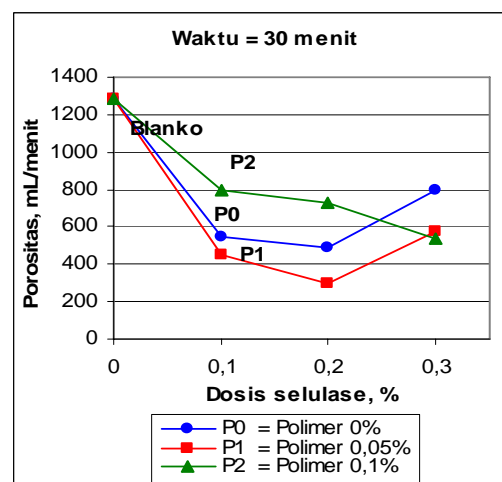
baik. Peningkatan indeks retak yang optimal terjadi pada dosis *selulase* 0,2% dan 0,05% polimer.



Gambar 4. Indeks Retak

### Porositas

Porositas kertas merupakan indikasi kemampuan kertas untuk dapat ditembus oleh udara yang dilewatkan pada salah satu permukaannya. Porositas juga menggambarkan adanya ruang-ruang kosong dalam lembaran kertas. Makin rapat ikatan antar serat makin sedikit ruang kosong, sehingga makin rendah porositasnya. Nilai porositas berbanding terbalik dengan fraksi padatan di dalam kertas. Secara tak langsung porositas memiliki korelasi dengan formasi dan kekuatan kertas sehingga digunakan sebagai sarana untuk mengontrol proses.



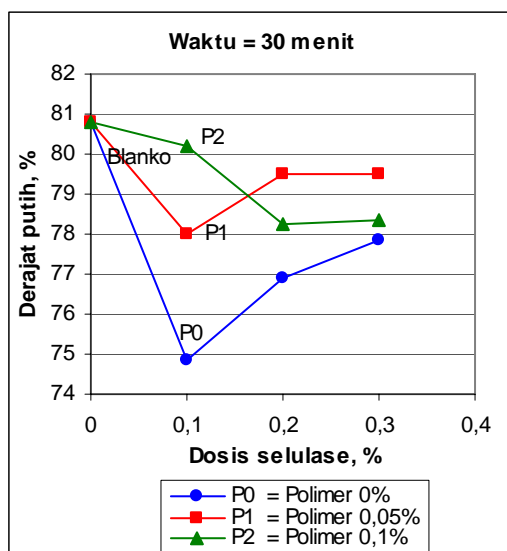
Gambar 5. Porositas

Berdasarkan gambar 5 terlihat bahwa hampir seluruh variasi *selulase* dan polimer cenderung menurunkan nilai porositas lembaran, walaupun pada dosis *selulase* 0,3% porositas cenderung naik. Sementara dengan dosis polimer P2 akan membuat nilai porositas menurun tajam seiring dengan bertambahnya *selulase*. Hal ini kemungkinan disebabkan karena penambahan polimer yang mempunyai berat molekul yang tinggi menghasilkan terbentuknya flokulasi yang berlebih dan keseragaman ikatan antar serat yang kurang baik.

Reaksi *selulase* juga menghasilkan serat yang lebih fleksibel sehingga lebih mudah dipadatkan. Susunan jalinan serat yang dapat mengisi ruang antar serat yang kosong menyebabkan nilai porositas menurun. Porositas yang paling optimal dihasilkan oleh variasi *selulase* 0,2% dan 0,05% polimer.

### Derajat Putih

Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai derajat putih *deinked pulp* adalah kandungan partikel pengotor dan tinta. Semakin tinggi kandungan partikel pengotor dan tinta, maka derajat putih *deinked pulp* akan semakin rendah dan sebaliknya semakin rendah partikel pengotor atau tinta, maka derajat putih akan semakin tinggi.



Gambar 6. Derajat Putih

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa hampir seluruh variasi *selulase* dan polimer cenderung menurunkan derajat putih lembaran dibandingkan dengan blanko.

Sementara dengan penambahan dosis *selulase* akan menaikkan derajat putih lembaran, walaupun nilainya masih di bawah blanko. Penurunan derajat putih pada hampir seluruh variasi dosis *selulase*, polimer dan waktu mungkin dikarenakan adanya *selulase* dan polimer. Hal ini dapat diketahui dari beberapa penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa kehadiran *selulase* saja dapat menurunkan derajat putih.

Begitu pula dengan keberadaan polimer yang cenderung akan menahan sisa partikel tinta yang ada di dalam stok, yang berakibat pada penurunan derajat putih. Selain itu kandungan warna larutan *selulase* dan polimer yang agak kekuning-kuningan kemungkinan juga menyebabkan terjadinya penurunan derajat putih meskipun relatif sedikit. Peningkatan derajat putih lembaran terjadi pada variasi dosis *selulase* 0,1% dan 0,1% polimer.

### KESIMPULAN

Dari percobaan ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- Peningkatan derajat giling (*freeness*) dapat dihasilkan dengan perlakuan *selulase* saja, tetapi untuk peningkatan kualitas serat sekunder yang optimal diperlukan penambahan poliakrilamida.
- Sifat ketahanan tarik dan sobek dapat mengalami peningkatan dengan perlakuan *selulase* saja, sementara ketahanan retak mengalami penurunan dengan adanya *selulase* dan penambahan poliakrilamida.
- Aktifitas *selulase* dan poliakrilamida juga dapat terlihat dengan menurunnya porositas pada seluruh variasi lembaran.
- Perlakuan *selulase* dan penambahan poliakrilamida dapat menurunkan nilai derajat putih meskipun penurunannya tidak begitu besar.
- Peningkatan kualitas lembaran yang optimal diperoleh dengan menggunakan perlakuan *selulase* 0,2% dan poliakrilamida 0,05%.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bajpai, Pratima, 1999. *Application of Enzymes in the Pulp and Paper Industry*. Biotechnology Prog. No. 15, pp 147-157.
- Balos, Barbara M., 1993. *Recovered Paper Contaminants*. Secondary Fiber Recycling, TAPPI Press, Atlanta, Georgia.
- Bharwadaj, Nishi K., Pratima Bajpai and Pramod K. Bajpai, 1995. *Use of Enzymes to*

- Improve Drainability of Secondary Fiber.* Appita.Vol. 48, No. 5, pp 378-380.
- Casey, J. P., 1983. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*, Vol. II, A. Willey Inter Science, New York.
- Casey, J. P., 1983. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*, Vol. II, A. Willey Inter Science, New York.
- Hipolit, Kevin J., 1992. *Chemical Processing Aids in Papermaking : A Practical Guide.* Tappi Press, Atlanta, Georgia.
- Jackson, L. Scott, John A. Heitmann and Thomas W. Joyce, 1993. *Enzymatic Modifications of Secondary Fiber.* Tappi Journal. Vol. 76, No. 3, pp 147-154.
- Litchfield, Edward, 1994. *Dewatering Aids for Paper Applications.* Appita.Vol. 47, No. 1, pp 62-65.
- Kocurek, M.J., 1991. *Pulp and Paper Manufacture Third Edition : Paper Machine Operation.* Tappi Press, New York.
- Sarkar, Jawed M.,David R.Cosper and Edward J. Hartig, 1995. *Applying Enzymes and Polymers to Enhance the Freeness of Recycled Fiber.* Tappi Journal. Vol. 78, No. 2, pp 89-95.
- Smook, G. A., 1992. *Handbook for Pulp and Paper Technologists*, 2<sup>nd</sup> edition, Angus Wilde Publications, Vancouver, Canada.
-