

Pemurnian Selulosa Alfa Pelepah Sawit Menggunakan Enzim Xylanase

Caesari*, Padil**, Yelmida**

*Alumni Teknik Kimia Universitas Riau **Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
acaesari91@gmail.com

ABSTRACT

*Midrib of palm oil is the most solid wastes which produced in oil palm plantations. Palm midrib is contained of 34.89% α -cellulose content percentage that can be improved with cooking using the extract solution ash of palm empty fruit bunches (Padil, 2010) and continued with the process of purification using xylanase enzyme. Higher content of Cellulose- α can be processed into a more commercially product. Cellulose- α > 92% qualified to be used as the main raw material (nitrocellulose) or making explosives and propellants. Stages of the purification process a palm midrib cellulose is extraction, hydrolysis, delignification and purification using xylanase enzyme with variations process is temperature (50, 60 and 70 ° C), enzyme dose (1, 2 and 3 ml) and the source of the enzyme (*Aspergillus* and *Trichoderma sp* so). Purification process operating conditions are: pH 5, time 90 minutes, the solid-solution 1:25. Content of purified cellulose- α increased to 96.60% for variable temperature at 60 ° C, 3 ml dose of enzymes and enzyme xylanase from *Aspergillus sp*.*

Keywords : Cellulose Alpha, Palm Midrib, Xylanase Enzyme

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara eksportir produk kelapa sawit dan turunannya terbesar setelah Malaysia yaitu hingga mencapai 32,64% terhadap ekspor dunia. Provinsi Riau tercatat sebagai wilayah yang memiliki perkebunan sawit terluas di Indonesia yaitu 1,61 juta hektar [Litbang Deptan, 2011]. Dengan luas perkebunan sawit tersebut, maka limbah pelepah sawit yang dihasilkan sebesar 10,14 juta ton. Akan tetapi, limbah pelepah sawit belum dimanfaatkan secara optimal. Pelepah sawit hanya dimanfaatkan menjadi pakan ternak dan pupuk kompos. Analisa kimia terhadap pelepah sawit menunjukkan bahwa terdapat komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang memperlihatkan bahwa pelepah sawit berpeluang untuk diolah lebih lanjut menjadi produk yang bermanfaat dan bernilai ekonomis.

Menurut Padil dkk [2010], pelepah sawit mengandung Selulosa - α (34,89%),

Hemiselulosa (27,14%), dan Lignin (19,87%). Selulosa - α merupakan kualitas selulosa yang paling tinggi (murni). Kadar selulosa- α pada limbah pelepah sawit sangat potensial untuk diolah menjadi turunan produk selulosa selanjutnya. Selulosa - α > 92% memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku utama (nitroselulosa) pembuatan propelan dan atau bahan peledak. Sedangkan selulosa kualitas dibawahnya digunakan sebagai bahan baku pada industri kertas dan industri sandang/kain (serat rayon). Selulosa dapat direaksikan dengan asam anorganik seperti asam nitrat, asam sulfat dan asam fosfat sehingga dapat digunakan sebagai sumber bahan baku propelan/bahan peledak pada industri pembuatan amunisi/mesin dan bahan peledak [Desriani, 2012].

Pemucatan (*bleaching*) merupakan suatu tahap proses pemurnian untuk menghilangkan zat-zat warna yang tidak disukai dalam suatu bahan dan

meningkatkan kemurnian dari suatu bahan. Menurut Richana [2002] dan Tarmansyah [2007] untuk menurunkan kandungan lignin dan hemiselulosa serta meningkatkan kemurnian selulosa - α perlu dilakukan proses *bleaching*. Namun hingga saat ini, metode *bleaching* yang dilakukan untuk mendapatkan kemurnian selulosa - α yang tinggi adalah menggunakan bahan kimia seperti *bleaching agent* H₂O₂ [Irfanto, 2013]. Penggunaan bahan kimia tentu akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Maka dari itu, diperlukan alternatif yang ramah lingkungan untuk mengatasi masalah ini, salah satunya adalah dengan mengembangkan proses pemurnian selulosa - α menggunakan enzim *xylanase*. Enzim *xylanase* diketahui memiliki kemampuan untuk memurnikan komponen selulosa yang terdapat di dalam lignoselulosa karena *xylanase* merupakan kelompok enzim yang memiliki kemampuan menghidrolisis hemiselulosa [Tsujiibo dkk, 1992].

Tjahjono [2006] telah melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *xylanase* dari *Aspergillus pullulans* pada perlakuan awal sebelum proses *bleaching pulp*. Tjahjono menyatakan bahwa penggunaan enzim *xylanase* dapat menurunkan kadar hemiselulosa dan lignin cukup signifikan, sehingga pemakaian *bleaching agent* H₂O₂ pada proses *bleaching pulp* dapat dikurangi. Zulfieni [2011] melakukan proses pemurnian selulosa pelepah sawit melalui proses hidrolisis menggunakan larutan pemasak ekstrak abu TKS untuk mendapatkan selulosa- α dengan kadar tinggi. Kemurnian selulosa- α yang didapat telah mencapai 86,12%.

Pada penelitian ini, selulosa- α dari pelepah sawit dengan kadar 86,12% dimurnikan lebih lanjut menggunakan enzim *xylanase*. Sehingga diperoleh kadar selulosa yang lebih tinggi (kemurniannya lebih tinggi). Kadar selulosa- α diharapkan setelah melalui proses pemurnian selulosa- α meningkat menjadi > 92%. Pemurnian

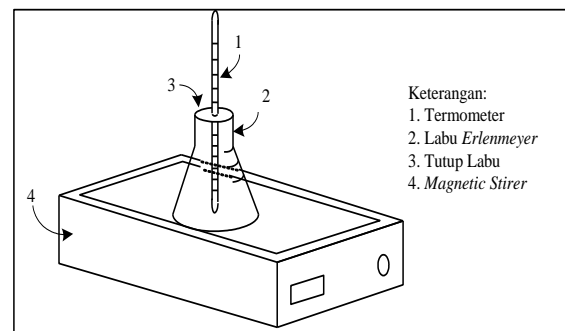
selulosa- α dilakukan pada pH 5 dan waktu 90 menit (Tjahjono, 2006).

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah mendapat kadar selulosa- α lebih dari 92% melalui proses pemurnian dengan menggunakan enzim *xylanase* serta memperoleh kondisi suhu, dosis enzim dan sumber enzim yang terbaik pada proses pemurnian α -selulosa pelepah sawit sehingga dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan nitroselulosa.

II. METODELOGI PENELITIAN

Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain labu didih, *heating mantle*, kondensor, *thermo haake*, termometer, gelas kimia, labu erlenmeyer, oven, timbangan analitik, *waterbath*, pH meter, batang pengaduk, corong kaca, desikator, kertas saring whatman, *aluminium foil*, soklet, pompa vakum, dan cawan petri.



Gambar 1 Rangkaian Peralatan Pemurnian

Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah pelepah sawit, ekstrak abu tandan kosong sawit (TKS), enzim *xylanase*, *buffer* pH 5 (*Acetate Buffer*), aquadest, asam asetat (CH₃COOH), asam sulfat (H₂SO₄) 98%, asam sulfat (H₂SO₄) 72%, heksan, NaOH 17,5%, kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) 0,5 N, indikator ferroin (C₁₂H₈N₂)₃FeSO₄, dan ferrous ammonium sulfat (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂6H₂O) 0,1 N.

Variabel yang digunakan

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap adalah pH dan waktu reaksi, Variabel bebas adalah suhu proses (50 ; 60 ; dan 70 oC), dosis enzim xylanase (1 ; 2 ; dan 3 ml) dan sumber enzim xylanase (*Aspergillus sp* dan *Trichoderma sp*).

Prosedur Penelitian

Tahap - tahap penelitian terdiri dari preparasi bahan baku, analisa bahan baku, proses pemurnian menggunakan enzim *xylanase* dan analisa hasil.

Penyiapan Larutan Ekstrak Abu Tandan Kosong Sawit (TKS)

Larutan pemasak pulp yang digunakan adalah ekstrak abu TKS. Abu TKS didapat dari hasil pembakaran tandan kosong sawit dalam *incenerator* pada pabrik CPO. Untuk memperoleh larutan pemasak dilakukan beberapa tahapan. Mula-mula abu TKS disaring menggunakan saringan berukuran 40 mesh. Abu yang tersaring kemudian ditambahkan air dengan perbandingan massa abu dan air 1 : 4. Larutan tersebut selanjutnya diaduk selama 15 menit sebelum didiamkan selama 48 jam hingga semua abu terendapkan. Larutan hasil ekstrak diperoleh dengan memisahkan endapan abu dari larutan, kemudian larutan tersebut disiapkan sebagai larutan pemasak dan dilakukan uji pH [Asri, 2010].

Ekstraksi

Jenis ekstraksi yang digunakan adalah sokletasi dengan menggunakan pelarut hexane. Proses sokletasi ini bertujuan untuk menghilangkan zat-zat ekstraktif pada pelepah sawit. Pelepah sawit yang telah diseragamkan ukurannya (20-40 mesh) dan dikeringkan sampai kadar airnya 10% kemudian diekstraksi selama 6 jam. Tahap ekstraksi ini berdasarkan TAPPI T-222 CM-98.

Proses Cooking (Pemasakan)

a. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahap pertama dalam pemasakan. Hidrolisis bertujuan untuk mempercepat

penghilangan pentosan (hemiselulosa) dalam bahan baku pada waktu pemasakan. Kondisi hidrolisis pada temperatur maksimum 100⁰C, rasio bahan baku terhadap larutan pemasak ekstrak abu TKS 1:8 dan waktu pemasakan 1 jam. Setelah proses hidrolisis, filtrat dikeluarkan dan dilanjutkan dengan proses delignifikasi [Zulfieni, 2011].

b. Delignifikasi

Delignifikasi pelepah sawit bertujuan untuk mendapatkan selulosa yang memiliki kadar lignin rendah. Proses delignifikasi dilakukan setelah proses hidrolisis. Hasil hidrolisis disaring dan dicuci dengan air panas untuk menghilangkan lindi hitam. Residu ditambahkan dengan larutan pemasak ekstrak abu TKS yang baru dengan nisbah padatan larutan 1:5, kondisi delignifikasi pada temperatur 100⁰C dan waktu 30 menit. Selanjutnya residu dicuci hingga pH netral [Zulfieni, 2011].

Pemurnian Selulosa - α

Sampel hasil hidrolisis sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam labu *erlenmeyer* 100 mL, dan ditambahkan 125 mL aquadest. Kemudian dilakukan pengaturan pH sampel dengan penambahan 3 - 4 tetes *buffer* pH 5 yaitu *Acetate buffer solution* kemudian dicek menggunakan pH meter. Selanjutnya tambahkan enzim *xylanase* kemudian sampel dipanaskan dalam *waterbath* selama 90 menit dengan variasi suhu (50 ⁰C, 60 ⁰C dan 70 ⁰C), dosis enzim (1, 2 dan 3 ml) dan sumber enzim. Selama proses pemurnian, pH dijaga tetap 5. Selanjutnya, sampel didinginkan dan disaring. Residunya dicuci sampai pH sama dengan pH air pencuci dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105⁰C.

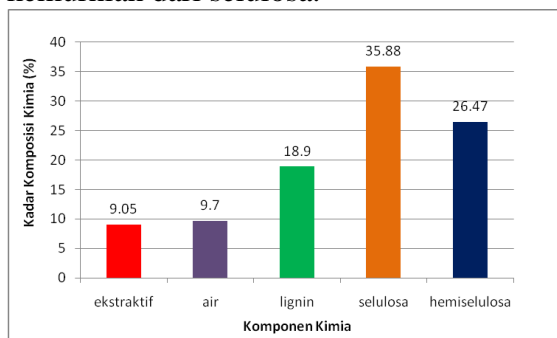
Analisa Hasil Pemurnian

Setelah proses pemurnian selesai, dilakukan analisa kadar ekstraktif (TAPPI T 222 cm-98), kadar lignin (SNI 0492-2008), dan kadar selulosa- α (SNI 0444-2009).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Komponen Kimia Pelepeh Sawit

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah pelepeh sawit yang didapat dari perkebunan sawit Fakultas Pertanian Universitas Riau. Analisa selulosa- α dilakukan dengan metode SNI 0444-2-2009 di Laboratorium Dasar Teknik, Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau. Analisa selulosa- α bertujuan untuk mengetahui kadar selulosa- α dari pelepeh sawit. Selulosa- α merupakan penentu kemurnian dari selulosa.

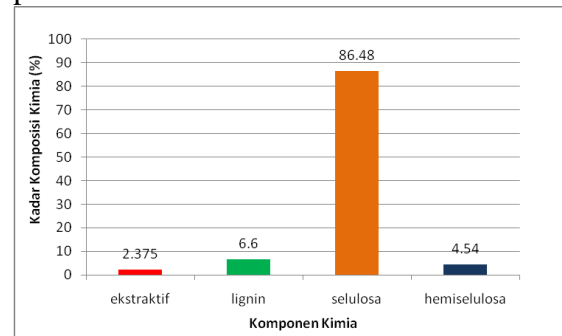


Gambar 2 Komposisi Kimia Pelepeh Sawit

Gambar 2 memperlihatkan bahwa komposisi yang paling besar dari pelepeh sawit adalah selulosa (35,88%), sehingga pelepeh sawit berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku sintesa produk-produk bernilai ekonomi tinggi, seperti *Microcrystalline cellulose*, *carboxymethyl cellulose*, *methyl cellulose*, *hydroxypropyl methyl cellulose*, dan *nitrocellulose* [Sumada, 2011]. Di samping selulosa, pelepeh sawit tersusun atas hemiselulosa (26,47%), lignin (18,9%), ekstraktif (9,05%) dan air (9,7%). Menurut Tarmansyah [2007], untuk pemanfaatan produk-produk turunan selulosa di antaranya nitroselulosa sebagai bahan baku propelan, komponen selulosa dalam bahan bakunya harus di atas 92%, sehingga harus dilakukan pemurnian terlebih dahulu sebelum pelepeh sawit dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Salah satu caranya yaitu dengan melakukan proses hidrolisis dan pemurnian menggunakan enzim *xylanase*.

Komposisi Kimia Pelepeh Sawit Hasil Hidrolisis

Bahan baku pelepeh sawit setelah dilakukan proses pengeringan, pengecilan dan penyeragaman ukuran menjadi 20-40 mesh [Zulfieni, 2011]. Adapun pengecilan dan penyeragaman ukuran ini untuk meningkatkan luas permukaan serta meningkatkan kelarutan dalam air. Laju reaksi meningkat seiring dengan waktu terhadap ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel memberikan waktu pemasakan yang semakin cepat. Selanjutnya dilakukan proses hidrolisis dengan menggunakan larutan ekstrak abu TKS yang memiliki pH larutan 12,5, kemudian sampel hasil hidrolisis dianalisa komposisi kimianya. Komposisi kimia pelepeh sawit hasil hidrolisis ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Komposisi Kimia Pelepeh Sawit Hasil Hidrolisis

Gambar 3 memperlihatkan bahwa pelepeh sawit hasil hidrolisis mengandung selulosa- α sebesar 86,48%, tidak jauh berbeda dengan yang didapatkan oleh Zulfieni [2011], yaitu 86,12%. Kadar selulosa- α pelepeh sawit hasil hidrolisis yang masih rendah yaitu 86,48% dikarenakan masih mengandung lignin (6,6%), hemiselulosa (4,54%), dan ekstraktif (2,375%), sehingga masih memungkinkan untuk mendapatkan kadar selulosa- α yang lebih tinggi, yaitu dengan proses pemurnian menggunakan enzim *xylanase*. Proses pemurnian menggunakan enzim *xylanase* dilakukan dengan harapan dapat dihasilkan selulosa dengan kadar di atas 92%, karena selulosa dengan kadar tinggi (>92%) dapat dimanfaatkan sebagai

bahan baku utama pembuatan nitroselulosa.

Analisa Hasil Pemurnian Menggunakan Enzim *Xylanase*

Proses pemurnian dilakukan dengan bantuan enzim *xylanase*, dengan variasi suhu proses yaitu 50, 60 dan 70 °C, variasi dosis penambahan enzim yaitu 1, 2, dan 3 ml dan sumber enzim yaitu enzim *xylanase* dari *Aspergillus sp* dan *Trichoderma sp*. Data hasil analisa komposisi kimia pelepah sawit setelah proses pemurnian pada variabel bebas yang dilakukan, ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1 Data Hasil Analisa Komposisi Kimia Pelepah Sawit Pada Variasi Suhu Reaksi

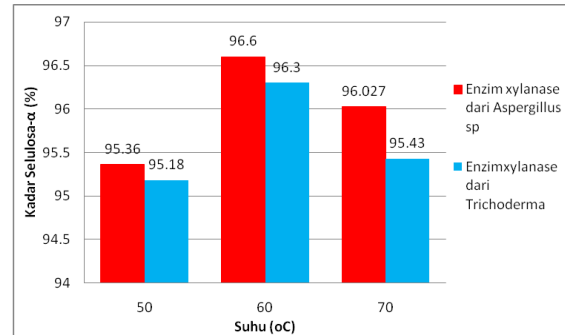
Variasi Suhu (°C)	Enzim <i>Xylanase</i> dari <i>Aspergillus sp</i>		Enzim <i>Xylanase</i> dari <i>Trichoderma sp</i>	
	Kadar Selulosa- α	Kadar Senyawa Lain	Kadar Selulosa- α	Kadar Senyawa Lain
50	95.36	4.63	95.18	4.81
60	96.6	3.4	96.30	3.88
70	96.027	3.97	95.43	4.56

Tabel 2 Data Hasil Analisa Komposisi Kimia Pelepah Sawit Pada Variasi Volume Penambahan Enzim

Variasi Volum Enzim (ml)	Enzim <i>Xylanase</i> dari <i>Aspergillus sp</i>		Enzim <i>Xylanase</i> dari <i>Trichoderma sp</i>	
	Kadar Selulosa- α	Kadar Senyawa Lain	Kadar Selulosa- α	Kadar Senyawa Lain
1	95.98	4.02	95.34	4.65
2	96.27	3.73	96.11	3.88
3	96.6	3.4	96.30	3.69

Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Kemurnian Selulosa

Variasi suhu reaksi dilakukan dari 50 °C, 60 °C, dan 70 °C dengan variabel tetap waktu reaksi 90 menit, nisbah padatan-larutan 1:25, serta pH pemurnian 5. Komposisi kimia pelepah sawit hasil pemurnian menggunakan enzim *xylanase* dengan variasi suhu reaksi ditampilkan pada Gambar 4.



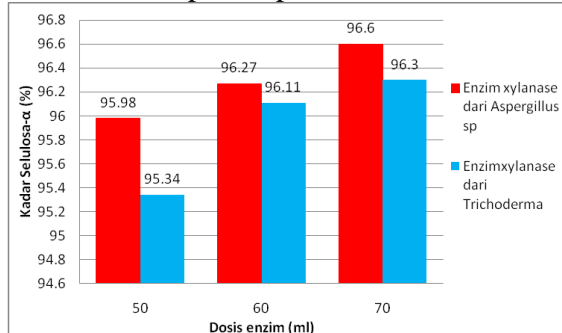
Gambar 4 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Kadar Selulosa- α

Pada suhu reaksi 50 °C hingga 60 °C, terjadi peningkatan kadar selulosa- α dari 95.36% menjadi 96.6% untuk sumber enzim dari *Aspergillus sp* dan 95.18% menjadi 96.30% untuk sumber enzim dari *Trichoderma sp*. Meningkatnya aktivitas *xylanase* seiring dengan kenaikan suhu dikarenakan pada saat suhu meningkat maka pergerakan dari molekul-molekul juga akan semakin meningkat. Ketika pergerakan dari molekul-molekul enzim meningkat, maka kemungkinan tumbukan yang terjadi juga semakin besar dan produk yang terbentuk juga akan semakin banyak [Jacobsen dkk, 2000].

Namun dari suhu reaksi 60 °C hingga 70 °C, terjadi penurunan kadar selulosa- α dari 96,60% menjadi 96,027% untuk sumber enzim dari *Aspergillus sp* dan 96.30% menjadi 95.43% untuk sumber enzim dari *Trichoderma sp*. Hal ini dikarenakan, ketika suhu dari suatu sistem meningkat, maka energi internal dari molekul-molekul dalam sistem juga meningkat. Sebagian dari panas yang ada akan diubah menjadi energi potensial. Apabila energi potensial tersebut cukup besar, maka beberapa ikatan lemah (contohnya ikatan hidrogen) yang menyusun struktur tiga dimensi dari protein akan putus. Hal ini menyebabkan denaturasi protein sehingga sisi aktif dari enzim akan berubah konformasinya yang menyebabkan enzim menjadi inaktif. Enzim merupakan suatu protein, sehingga pada suhu tertentu akan bisa mengalami denaturasi [Jacobsen dkk, 2000].

Pengaruh Dosis Enzim Terhadap Kemurnian Selulosa

Komposisi kimia pelepah sawit hasil pemurnian menggunakan enzim *xylanase* dengan variasi penambahan *volume* ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Pengaruh Dosis Enzim Terhadap Kadar Selulosa- α

Gambar 5 menunjukkan bahwa variasi penambahan *volume* enzim memberikan pengaruh terhadap komposisi hasil pemurnian. Pada *volume* enzim 1 ml hingga 2 ml, terjadi peningkatan kadar selulosa- α dari 95,98% menjadi 96,27%. Hal itu sesuai dengan teori laju reaksi, dimana semakin lama waktu reaksi maka reaksi akan berlangsung makin sempurna. Pada variasi penambahan *volume* enzim 2 ml menjadi 3 ml, terjadi peningkatan kadar selulosa- α dari 96,27% menjadi 96,60%. Hal ini disebabkan karena semakin besar penambahan *volume* enzim *xylanase* maka semakin banyak pula xilan yang dihidrolisis yang terdapat dalam hemiselulosa menjadi xilosa akibat kerja dari enzim *xylanase* tersebut. Hal ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi enzim akan semakin mempercepat terjadinya reaksi. Dan konsentrasi enzim berbanding lurus dengan kecepatan reaksi. Jika sudah mencapai titik jenuhnya, maka konsentrasi substrat berbanding terbalik dengan kecepatan reaksi.

Pengaruh Sumber Enzim Terhadap Kemurnian Selulosa

Jenis mikroorganisme yang sudah umum menghasilkan *xylanase* ialah dari golongan jamur dan bakteri. Dibandingkan dengan enzim *xylanase* dari bakteri, aktifitas *xylanase* dari golongan jamur jauh

lebih tinggi. Disamping itu, level produksi yang tinggi dan kemudahan dalam kultivikasi membuat jamur lebih banyak digunakan dalam produksi enzim skala industri [Gideon, 2005].

Berdasarkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2, dapat dilihat bahwa hasil optimum didapatkan pada penggunaan enzim *xylanase* yang bersumber dari jamur *Aspergillus sp*. Dapat dilihat dari tabel 4.1, pada kenaikan suhu dari 60°C menjadi 70°C terjadi penurunan persentase kemurnian selulosa- α . Namun pada enzim *xylanase* dari *Aspergillus sp*, penurunan persentase kemurnian selulosa- α tidak memberikan perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan enzim *xylanase* dari *Trichoderma sp*. Hal ini dikarenakan enzim *xylanase* dari *Aspergillus sp* lebih bersifat termostabil dibandingkan enzim *xylanase* dari *Trichoderma sp* [Gideon, 2005]. Enzim *xylanase* dari *Aspergillus sp* juga memiliki aktifitas enzim yang lebih baik dibandingkan dengan *Trichoderma*, sehingga memberikan hasil yang lebih optimum.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pemurnian selulosa- α dengan menggunakan enzim *xylanase* menghasilkan kadar selulosa- α pelepah sawit >92% sehingga bisa digunakan untuk pembuatan nitroselulosa.
2. Hasil pemurnian pelepah sawit terbesar berada pada suhu 60°C yaitu 96.60% selulosa- α .
3. Hasil pemurnian pelepah sawit dengan dosis enzim sebanyak 3 ml menghasilkan selulosa- α terbesar.
4. Enzim *xylanase* dari *Aspergillus sp* merupakan enzim dengan aktifitas terbaik dalam proses pemurnian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Padil, ST., MT dan ibu Dra. Yelmida M.Si selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing

penulis selama penelitian ini. Terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepada para sahabat Laurha, Sri, Bloomy dan Wiwa serta rekan tim penelitian yaitu Donna, Dita, Fani, Febri dan Erikson, dan rekan-rekan Teknik Kimia Angkatan 2009 yang telah banyak membantu penulis dalam skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Artati, Enny K. Effendi, Ahmad. Haryanto, Tulus, 2009. *Pengaruh Konsentrasi Larutan Pemasak Pada Proses Delignifikasi Eceng Gondok Dengan Proses Organosolv*. Ekuilibrium Vol. 8.
- Asri., S. 2010. *Pemurnian Selulosa Alfa batang Sawit Menggunakan Ekstrak Abu TKS*. Skripsi, Universitas Riau
- Bajpai, P. 1999. *Application of enzymes in the Pulp and Paper Industry*. Biotechnolony Progress.15 : 147-157
- Buchert, J., Oksanen, T., Pere,J., Siika-Aho, M., Suurnakki, A.&Viikari, L., (1998), *Application of T. reesei enzymes in The Pulp and Paper Industri*. In: Harman, G.E & Kubicek, C.P. (eds). 1998. *Trichoderma and Gliocladium Vol.2 Enzymes, Biological Control and Commercial Application*. Taylor & Francis Ltd. London. 343 - 63.
- Desriani, Raissa. 2013. *Proses Pembuatan Nitroselulosa dari Limbah Pelepah Sawit*. Skripsi, Universitas Riau
- Fengel, D. dan Wegener, G., 1995, *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi*. Translated from the English by H. Sastrohamidjojo, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Gideon, Deddy. 2005. *Produksi Enzim Xylanase dari Aspergillus niger dan Trichoderma reesei Menggunakan Kultur Campuran*. Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
- Irfanto, Heryawan. 2013. *Proses Bleaching Pelepah Sawit Hasil Hidrolisis sebagai Bahan Baku Nitroselulosa dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi*. Skripsi, Universitas Riau
- Jacobsen, S.E., Wyman, C.E., 2000. *Cellulose and hemicellulose hydrolysis models for application to current and novel pretreatment processes*. Appl. Biochem. Biotechnol. 84–86, 81 .
- Kim, S., 2006, *Biomassa*. (http://repository.upi.edu/operator/s_kim_060429.pdf) diakses pada 24 Februari
- Litbang Deptan, 2011, *Pengolahan Pelepah Kelapa Sawit menjadi Pakan*, (http://lolitikambing.litbang.deptan.go.id/ind/images/stories/pdf/pakan_komplit_pelepah_sawit.pdf), diakses 2 Agustus 2012
- Natasha, Nadya, 2012, *Variasi Komposisi dan Sumber Nutrisi Bagi Miselium pada Proses Pelapukan Pelepah Kelapa Sawit untuk Mendegradasi Lignin*, Skripsi, Universitas Indonesia
- Nuringtyas, Tri Rini. 2010. *Karbohidrat*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Padil, 2010, *Proses Pembuatan Nitroselulosa Berbahan Baku Biomassa Sawit, Pengembangan dan Keberlanjutan Energi di Indonesia*, ISBN 978-602-96729-0-9, 2A03
- Padil, Silvia, A., Yelmida, A., 2010, *Penentuan Temperatur terhadap Kemurnian Selulosa – α Batang Sawit Menggunakan Ekstrak Abu TKS, Pengembangan dan Keberlanjutan Energi di Indonesia*, ISBN 978-602-96729-0-9, 2A07
- Richana, Nur. 2002. *Produksi dan Prospek Enzim Xylanase dalam Pengembangan Bioindustri di Indonesia*. Buletin Agrobio. 5(1) : 29-36.
- Saha, B.C. 2004. *Lignocellulose Biodegradation and Application in*

- Biotechnology*. US Government Work. American Chemical Society. 2-14.
- Sa'id, G.E., 1996. *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit*. PT. Trubus Agriwidya, Ungaran.
- Septiningrum, K dan Moeis, M.R. 2008, *Research into Isolasi dan Karakteristik Xylanase dari Bacillus Circulans*, Skripsi, Institut Teknologi Bandung.
- Singh, Rudra P., 1991. *The Bleaching of Pulp*, Tappi Press, Atlanta.
- Sjostrom, E., 1995, *Kimia Kayu: Dasar-dasar dan Penggunaan, edisi ke-2*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Sumada, Ketut. 2011. *Kajian Proses Isolasi α - Selulosa dari Limbah Batang Tanaman Manihot Esculenta Crantz yang Efisien*. Jurnal Teknik Kimia Vol.5, No.2, April 2011
- Tarmansyah, U.S., 2007, *Pemanfaatan Serat Rami Untuk Pembuatan Selulosa*, Puslitbang Indhan Balitbang Dephan, Jakarta Selatan.
- Tjahjono, Judi. 2006, *Pengaruh Xylanase pada Perlakuan Awal Pemutihan terhadap Kualitas Pulp*, Berita Selulosa, Vol. 43 (2), hal. 62-68,
- Tolan, J. S., R. V. Canovas., 1992. *The Use of Enzymes to Decrease the Cl_2 Requirements in Pulp Bleaching*, Pulp and Paper Canada, Vol. 93 No. 5, 39-42.
- Tsujibo, H., K. Miyomoto, T. Kuda, K. Minami, T. Sakamoto, T. Hasegawa, and Y. Ianamori. 1992. *Purification, properties, and partial amino acid sequences of thermostable xylanase from Streptomyces termoviolaceus OPC-520*. Appl. Environ. Microbiol. 58:371-375.
- Whistler, R.L. 1950. *Advances in Carbohydrate Chemistry*. Volume V. General Polysaccharides. Academic Press, New York.
- Winarno, F.G. 1984. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT. Gramedia. Jakarta.
- Yang, V.W., Z. Zhuang, G. Elegir, and T.W. Jeffries. 1995. *Alkaline-active xylanase produced by an alkaliphilic Bacillus sp. (VI-4) isolated from kraft pulp*. J. Industrial Microbiol. 15:434-441
- Zulfieni, W.Y., 2011. *Hidrolisis Pelepah Sawit Untuk Memurnikan Selulosa- α* . Skripsi, Universitas Riau