

**PRODUKSI BIOETANOL DARI ALKALI-PRETREATMENT
JERAMI PADI DENGAN PROSES SIMULTANEOUS SACHARIFICATION
AND FERMENTATION (SSF)**

Iryanti Fatyasari Nata*, Jody Hartoto Prayogo, Toni Arianto

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia

*E-mail corresponding author: yanti_tkunlam@yahoo.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 05-02-2014 Received in revised form: 17-03-2014 Accepted: 29-03-2014 Published: 04-04-2014</p> <p><i>Keywords:</i> Rice straw Delignification Bioethanol SSF</p>	<p><i>Rice straw is an agricultural waste which contains 39% cellulose and 27.5% hemicelluloses. Rice straw can be converted into bio ethanol by Simultaneous Saccharification Fermentation (SSF) process. The aims of this research are to investigate the influence of rice straw pretreatment and operation condition (number of cellulose enzyme and Saccharomyces cerevisiae) for bioethanol production. The bioethanol conversion was divided by 2 steps, there were delignification and SSF. Delignification process was done by soak rice straw in NaOH 2% heated at temperature 85 °C for 1 hour then washed with water. The pretreatment rice straw was used as substrate in SSF. SSF was conducted in the presence of cellulase enzyme (20, 30, and 40 FPU) and Saccharomyces Cerevisiae (2,4 and 6 ose) for 3 days. The bioethanol concentration produced for 20 FPU, 30 FPU, and 40 FPU in 2 ose S.cerevisiae are 0,45%, 0,44%, and 0,43% respectively. The addition number of Saccharomyces cerevisiae was gave high concentration of bioethanol. The result shown that bioethanol concentration of 2 ose, 4 ose and 6 ose are 0,45%, 0,46% and 1,07%, respectively. In the same concentration of enzyme (20 FPU) which pretreatment and non pretreatment substrate was increased of bioethanol concentration up to 82,2%. The pretreatment process was broken the structure of lignin and made enzyme easy to attached cellulose and converted to glucose.</i></p>

Abstrak- Jerami padi merupakan limbah pertanian yang mengandung 39% selulosa dan 27,5% hemiselulosa, jika dihidrolisis jerami padi dapat dikonversi menjadi gula sederhana selanjutnya difermentasi menjadi bioetanol. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh pretreatment jerami padi dan kondisi operasi (jumlah enzim selulase dan *Saccharomyces cerevisiae*) dalam produksi bioetanol dengan proses Simultaneous Saccharification Fermentation (SSF). Proses delignifikasi dilakukan dengan cara merendam jerami padi yang sudah dihaluskan dengan 2% NaOH (w/v) pada suhu 85°C selama 1 jam. Jerami padi dikeringkan setelah pretreatment yang sebelumnya dicuci sampai pH filtratnya netral. Selanjutnya jerami padi kering digunakan sebagai substrat dalam SSF dengan menggunakan enzim selulase (20, 30 dan 40 FPU) dan *S. Cerevisiae* (2, 4 dan 6 ose) selama 3 hari dalam acetate buffer pH 5 serta penentuan konsentrasi etanol menggunakan Gas Chromatography (GC). Dengan analisis Scanning Electrom Microscope (SEM) dan X-Ray Diffraction (XRD), struktur permukaan yang rapi dan diselimuti oleh lignin menjadi kasar dan pecah yang diiringi dengan peningkatan struktur kristal sebesar 33,24% dari jerami padi setelah pretreatment dengan NaOH. Kadar bioetanol yang dihasilkan untuk 20 FPU, 30 FPU dan 40 FPU dengan kandungan *S.Cerevisiae* 2 ose berturut-turut adalah 0,45%, 0,44% dan 0,43%. Dari variasi jumlah *S. Cerevisiae* 2,4 dan 6 ose dengan enzim selulase 20 FPU menghasilkan bioetanol sebesar 0,45%, 0,46% dan 1,07%. Kadar bioetanol yang dihasilkan dengan substrat yang di pretreatment dapat meningkatkan konsentrasi bioetanol sebesar 82,2% pada kondisi SSF yang sama. Pretreatment terhadap substrat memberikan efek terhadap produk SSF karena dengan penghilangan lignin akan memaksimalkan kerja enzim selulase mengkonversi selulosa menjadi glukosa.

Kata Kunci: Jerami padi, delignifikasi, bioetanol, SSF

PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, namun disadari atau tidak berbagai kebutuhan manusia menggunakan bahan bakar minyak. Penggunaan bahan bakar minyak di Indonesia mencapai 47,1% dan naik sekitar 5% tiap tahunnya, diperkirakan cadangan minyak bumi akan habis dalam kurun waktu 15 tahun (Interaktif 2009). Disamping kelangkaan bahan bakar, polusi udara yang disebabkan oleh tingginya kadar CO₂ dan SO₂ akibat penggunaan bahan bakar fosil yang menyebabkan perubahan iklim global dan efek rumah kaca. Oleh karena itu pada saat ini usaha mencari sumber energi alternatif semakin meningkat salah satunya adalah bioetanol.

Bioetanol merupakan sumber bahan bakar alternatif untuk menyelesaikan masalah ketersediaan bahan bakar yang saat ini masih tergantung pada bahan bakar minyak (BBM). Pengembangan bioetanol dari sampah organik sebagai pengganti BBM memiliki beberapa keuntungan, yaitu penggunaan bioetanol sebagai campuran premium menghasilkan emisi gas buang yang lebih ramah lingkungan karena kandungan oksigennya dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Bioetanol juga mampu meningkatkan angka oktan dan mengurangi penggunaan aditif bertimbang yang berbahaya terhadap lingkungan hidup.

Percobaan mengenai bioetanol banyak dilakukan dengan berbagai bahan baku. Salah satu bahan baku yang digunakan adalah jerami padi. Jerami adalah tanaman padi yang telah diambil buahnya (gabahnya), sehingga tinggal batang dan daunnya yang umumnya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Jerami merupakan limbah pertanian terbesar serta belum dimanfaatkan sepenuhnya khususnya pada Kabupaten Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan dimana angka produksi padi dari tahun 2008-2010 mengalami peningkatan yaitu 312.805-329.089 ton/tahun (Banjarbaru, 2010). Dengan adanya peningkatan angka produksi tersebut, maka semakin banyak pula limbah yang dihasilkan. Jerami padi mengandung sekitar 39% selulosa dan 27,5% hemiselulosa, komponen ini yang dapat dikonversi menjadi glukosa dan kemudian difermentasi menjadi bioetanol. Penelitian yang telah dilakukan berupa *diluted acid treatment* (1% H₂SO₄) terhadap jerami padi, selanjutnya enzim cellulase dan β-glukosidase dalam proses hidrolisis dan menghasilkan 22 g per 100 g jerami padi (Hsu et al., 2010). Selain itu, jerami yang ditreatment dengan alkali (2% NaOH) dan dihidrolisis dengan *Trichoderma reesei* ZM4-F3 menghasilkan glukosa 2,231 g/L (Zhang and Cai, 2008). Sejalan dengan pengembangan teknik proses fermentasi, peneliti menggunakan proses *simultaneous saccharification and fermentation*

(SSF) sebagai salah satu teknik untuk memproduksi etanol secara simultan. Penelitian dengan teknik SSF berbahan baku jerami padi yang melakukan *diluted acid pretreatment* telah menghasilkan etanol dengan konsentrasi 20,96 g/L (Karimi et al., 2006). Perbedaan *pretreatment* terhadap jerami padi ternyata menghasilkan konsentrasi etanol yang berbeda pula, *aqueous-ammonia soaking pretreatment* terhadap jerami padi menghasilkan etanol sebesar 12,5 g/L (Ko et al., 2009).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pada penelitian ini akan mempelajari pengaruh alkali *pretreatment* jerami padi terhadap bioetanol yang dihasilkan melalui teknik SSF dengan bantuan mikroba *Saccharomyces cerevisiae*. Untuk mengoptimalkan produksi bioetanol, konsentrasi enzim dan banyaknya mikroba *S. cerevisiae* pada SSF akan dievaluasi

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini ditetapkan dengan variabel tetap yaitu berat bahan baku 2 gram jerami, kondisi operasi pada SSF yaitu pH 5, temperatur 30 °C dan kecepatan *orbital shaker* 100 rpm selama 3 hari. Variabel berubah yang digunakan adalah konsentrasi enzim (20, 30 dan 40 FPU) dan banyaknya biakan *S. Cerevisiae* yaitu 2,4 dan 6 ose.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Jerami padi dari Pematang, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan. Natrium hidroksida (NaOH), *Sacharomyces Cerevisiae*, *aquadest*, enzim selulase, glukosa (C₆H₁₂O₆), yeast extract, acetic acid (CH₃COOH), sodium acetate trihydrate (NaC₂H₃O₂.3H₂O), kalium hidrofosfat (KH₂PO₄), MgSO₄.7H₂O, amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄)

Prosedur penelitian meliputi persiapan sampel jerami padi dilakukan dengan cara dihaluskan dan diayak untuk mendapatkan ukuran 250 mikron. Kemudian dilakukan delignifikasi dimana Jerami padi sebanyak 20 g dilarutkan dalam 2% NaOH (80 mL) (Rasio solid dengan liquid adalah 1:4) dipanaskan pada suhu 85 °C selama 1 jam disertai pengadukan 100 rpm. Jerami dipisahkan dari larutannya dengan filtrasi dan dicuci sampai pH filtratnya netral. Jerami padi yang sudah di delignifikasi dikeringkan dalam oven suhu 70 °C sampai beratnya konstan. Jerami ini yang digunakan sebagai substrat pada proses SSF.

Pada pembuatan starter *Saccharomyces Cerevisiae* diambil dari biakan sebanyak 2, 4, dan 6 ose dicampurkan dalam 50 mL medium (glukosa 1 g/100 mL; yeast extract 1 g/100 mL, KH₂PO₄ 1 g/100 mL; MgSO₄.7H₂O 0,1 g/100 mL; dan (NH₄)₂SO₄ 0,1 g/100 mL) dalam 200 mL flask, kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 24 jam menggunakan *orbital shaker* dengan kecepatan 100 rpm. Medium yang digunakan sebelumnya sudah

disterilisasi dengan autoclave selama 20 menit. Pembuatan *stater* ini dilakukan dalam *laminar flow*.

Larutan nutrient dibuat dari campuran *yeast extract* (0,2 g/100 mL), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,025 g/100 mL; dan $(NH_4)_2SO_4$ (0,1 g/100 mL), selanjutnya nutrient ini di sterilisasi selama 20 menit. Sedangkan untuk Sodium acetate buffer dengan konsentrasi 0,05 M dibuat dengan melarutkan 13,60 g sodium acetate trihydrate ($NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$) dalam 497 mL akuades, selanjutnya diset pH=5 dengan menambahkan 3 M acetic acid. Tambahkan akuades sampai 500 mL. Larutan buffer ini disterilisasi selama 20 menit. Kemudian Medium untuk SSF dibuat sebanyak 50 mL terdiri dari sampel jerami padi yang telah *dipretreatment* (1 g), nutrients medium (25 mL), enzim selulase (20, 30 dan 40 FPU), *Sodium acetate* buffer (20 mL) dan larutan *stater* (5 mL). Kultivasi dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL kemudian ditutup rapat, selanjutnya diletakkan pada *orbital shaker* pada kecepatan 100 rpm selama 72 jam.

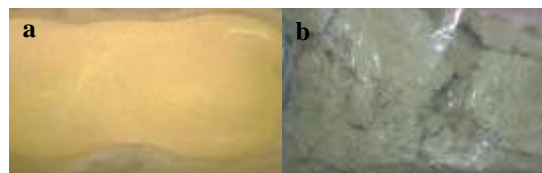
HASIL DAN PEMBAHASAN

Jerami padi merupakan limbah yang masih belum bisa ditanggulangi dengan baik, pada umumnya jerami padi hanya dijadikan sebagai makanan ternak dan limbah. Jerami padi mempunyai potensi untuk menghasilkan bioetanol, karena mengandung lignoselulosa dengan komponen penyusunnya yaitu selulosa 37,71 % dan hemiselulosa 21,99 % dan lignin 16,62 % (Sanjaya and Andrianti 2011). Kandungan selulosa yang besar akan menghasilkan kadar bioetanol yang besar pula.

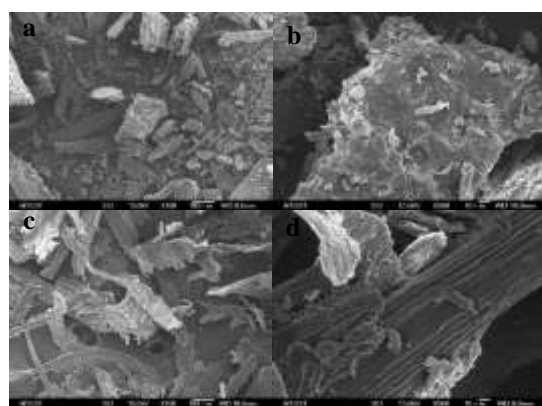
Pretreatment terhadap Jerami Padi

Jerami padi merupakan bahan berselulosa, bahan selulosa mempunyai struktur yang kompleks maka diperlukan tambahan perlakuan khusus untuk menghilangkan lignin yang disebut delignifikasi. Dalam proses delignifikasi digunakan 2% NaOH (w/v). Proses *pretreatment* dengan NaOH dapat menghilangkan kandungan-kandungan yang mengikat selulosa pada serat jerami padi. Tujuan dari proses *pretreatment* adalah untuk memecah struktur lignin, memecah kristal selulosa, meningkatkan porositas bahan, memecah hemiselulosa, dan depolimerisasi hemiselulosa (Sun & Cheng, 2002). Hal ini dilakukan untuk mengkondisikan bahan lignoselulosa baik dari segi ukuran maupun struktur bahan baku, sehingga memudahkan akses enzim untuk mengkonversi karbohidrat menjadi gula. *Pretreatment* juga efektif untuk meningkatkan kinerja dari enzim saat hidrolisis, mengurangi karbohidrat yang hilang dan mencegah terbentuknya produk samping seperti selobiosa pada proses hidrolisis (Sun & Cheng, 2002). Proses delignifikasi juga menyebabkan

perubahan warna dan berat serbuk jerami padi dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan adanya delignifikasi ini mengakibatkan penurunan menjadi 78% dari berat awal, hal ini dikarenakan hilangnya kadar lignin yang dikandung jerami padi.



Gambar 1. Perubahan struktur dan warna jerami padi (a) sebelum dan (b) sesudah proses delignifikasi.



Gambar 2. SEM images dari jerami padi (a) jerami padi sebelum *treatment* (b) jerami padi perbesaran 500 kali (c) jerami padi sesudah *treatment* (d) jerami padi sesudah *treatment* perbesaran 500 kali.

Struktur morfologi jerami padi sebelum dan sesudah proses delignifikasi diobservasi dengan analisis SEM yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Dalam proses delignifikasi uji SEM diperlukan untuk mengetahui struktur morfologi jerami padi. Pada Gambar 2(a) dapat dilihat jerami padi sebelum proses delignifikasi, dari perbesaran jerami padi 500x (Gambar 2(b)) berbentuk amorph, permukaannya halus dan tidak pecah. Hal ini karena jerami padi masih diselubungi oleh lignin, hemiselulosa dan komponen lain yang mengikat selulosa. Pada Gambar 2(c) dapat dilihat jerami padi yang sudah mengalami proses delignifikasi, pada perbesaran 500x (Gambar 2(d)) jerami padi berbentuk serat/*sheet* dan struktur permukaannya lebih kasar dan pecah. Larutan 2% NaOH dapat menyerang dan merusak struktur lignin pada jerami padi, mengubah struktur amorph menjadi kristal serta melarutkan lignin dan hemiselulosa dan menyebabkan pengembangan pada struktur selulosa (Gunam et al, 2010).

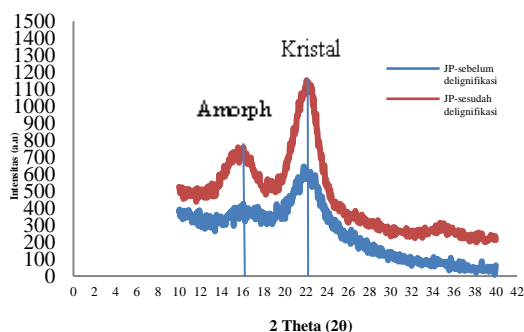
Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal selulosa dan mengetahui *Crystallinity Index* (CrI) jerami padi sebelum dan sesudah *treatment*. Jerami padi yang mengandung serat selulosa di dalam struktur penyusunnya mempunyai karakteristik *peak* pada $2\theta = 16,5^\circ$

(selulosa I), 22,37° (selulosa II) (Yu *et al.*, 2008). Dari Tabel 1 dapat dilihat intensitas jerami padi pada karakteristik *peak* amorph 16,5° dan kristal 22,37°

Tabel 1 Karakteristik Jerami Padi Sebelum dan Sesudah *Treatment*

Sampel	Karakteristik <i>Peak</i>		CrI (%)
	Amorph (16,5°)	Kristal (22,37°)	
JP	500	694	27,95
JP- <i>treatment</i>	583	1003	41,87

Perubahan struktur jerami padi sebelum dan sesudah *pretreatment* sangat jelas terlihat, dimana komponen amorph pada jerami padi berubah menjadi kristal selulosa yang pecah dan kasar dengan ditandai perubahan persentase kristalinitas jerami padi meningkat sebesar 33,24 %.



Gambar 3. X-Ray Diffraction Jerami Padi Sebelum dan Sesudah Lignifikasi

Struktur kristalin dari selulosa dapat mempengaruhi produk yang dihasilkan, selulosa merupakan parameter yang menentukan kekuatan dari serat (Vainio, 2007). Struktur jerami padi sebelum dan sesudah perlakuan *treatment* masih memiliki komponen-komponen dengan bentuk *amorph* (hemiselulosa dan lignin) dan kristal (selulosa). Hal ini dikarenakan hilangnya kandungan lignin dan hemiselulosa setelah proses delignifikasi dengan NaOH. Pada Gambar 3 menunjukkan serat jerami padi mengalami peningkatan nilai CrI setelah proses delignifikasi. Hal tersebut dapat dilihat dengan meningkatnya nilai CrI sebesar 27,95 % (selulosa I) menjadi 41,87 % (selulosa II). *Treatment* jerami padi dengan NaOH dapat meningkatkan jumlah selulosa karena *treatment* dengan NaOH dapat menrestrukturisasi *amorphous cellulose* menjadi *crystalline cellulose*, sehingga dapat disimpulkan bahwa *treatment* dengan NaOH pada proses delignifikasi pada jerami padi dapat meningkatkan intensitas atau

struktur kristalin dari jerami padi (Gunam, et al, 2010).

Produksi Bioetanol dari Jerami Padi dengan Proses *Simultaneous Sacharification and Fermentation* (SSF)

Secara umum sintesis bioetanol yang berasal dari biomassa terdiri dari dua tahap utama, yaitu hidrolisis dan fermentasi. Proses SSF merupakan penggabungan antara tahap hidrolisis dan fermentasi yang dilakukan secara simultan dalam satu waktu, sehingga dapat berlangsung efisien. Proses hidrolisis (sakarifikasi) dilakukan secara biologis, yaitu dengan menggunakan enzim. Enzim merupakan protein yang bersifat katalis, sehingga sering disebut biokatalis. Enzim mempunyai kemampuan mengaktifkan senyawa lain secara spesifik dan dapat meningkatkan kecepatan reaksi kimia yang akan berlangsung lama apabila tidak menggunakan enzim. Proses SSF juga melibatkan *yeast* atau mikroba untuk menguraikan glukosa pada proses fermentasi.

Fermentasi merupakan proses produksi energi dari mikroorganisme dalam kondisi anaerobik (tanpa udara). Mikroorganisme yang melakukan fermentasi bioetanol harus dapat memfermentasi semua monosakarida yang terkandung dalam media. Mikroba *Saccharomyces cerevisiae* digunakan untuk mengkonversi gula menjadi bioetanol dengan kemampuan konversi yang baik. Proses fermentasi dilakukan selama 3 hari pada pH 5 untuk mengetahui kadar bioetanol yang dihasilkan (Bon-Wook Koo et al., 2010).

Pengaruh Konsentrasi Cellulase Terhadap Produk Bioetanol

Salah satu komponen penting dalam proses SSF adalah enzim. Enzim merupakan biokatalis yang fungsinya mempercepat suatu reaksi kimia. Enzim yang digunakan dalam proses SSF adalah enzim selulase. Enzim selulase merupakan campuran dari beberapa enzim, sedikitnya ada tiga kelompok enzim yang terlibat dalam proses hidrolisis selulosa, yaitu :

- 1) Endoglukanase yang bekerja pada wilayah serat selulosa yang mempunyai kristal index rendah untuk memecah selulosa secara acak dan membentuk ujung rantai yang bebas.
- 2) Eksoglukanase atau selobiohidrolase yang mendegradasi lebih lanjut molekul tersebut dengan memindahkan unit-unit selobiosa dari ujung-ujung rantai yang bebas.
- 3) β -glukosidase yang menghidrolisis selobiosa menjadi glukosa.

Jumlah enzim yang diperlukan untuk hidrolisis selulosa berbeda-beda, bergantung pada kadar padatan tidak larut air (*water insoluble solids*) pada

bahan yang akan dihidrolisis. Sampai tahap tertentu, semakin banyak selulase yang digunakan, semakin tinggi rendemen dan kecepatan hidrolisis, namun juga meningkatkan biaya proses. Konsentrasi selulase yang diberikan pada proses SSF mempengaruhi kadar bioetanol yang dihasilkan. Variasi untuk enzim selulase yang diberikan adalah 20 FPU, 30 FPU, dan 40 FPU. Berikut adalah Tabel 2 hasil bioetanol berdasarkan variasi kadar enzim.

Tabel 2 Tabel Hasil Kadar Bioetanol Berdasarkan Konsentrasi Enzim

Kadar Enzim (FPU)	Kadar Bioetanol (%) [*]
20	0,45 %
30	0,44 %
40	0,43 %

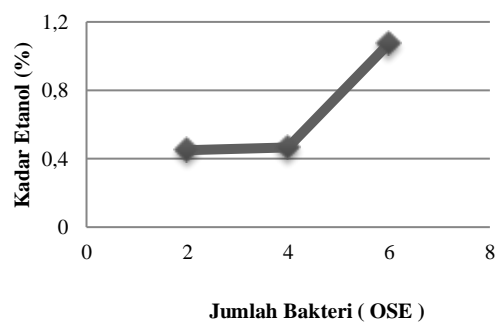
^{*}Fermentasi berlangsung selama 3 hari dengan *S. Cerivisae* 2 ose dalam asetat *buffer* pH= 5.

Bioetanol yang dihasilkan berdasarkan konsentrasi enzim menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi enzim yang diberikan, maka semakin sedikit kadar bioetanol yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa kadar bioetanol paling besar pada 20 FPU yaitu 0,45% dan yang terkecil pada 40 FPU dengan kadar bioetanol 0,43%. Besarnya kadar bioetanol yang dihasilkan pada 20 FPU disebabkan karena partikel-partikel pada substrat dipecahkan oleh kerja enzim. Dari data yang diperoleh kerja enzim akan maksimal pada kondisi tertentu, dimana enzim akan bekerja sesuai dengan kemampuannya memecahkan glikosida pada selulosa menjadi glukosa (Soeprijanto, et al, 2010). Hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa penggunaan konsentrasi enzim adalah 10-20 FPU (Sun and Cheng, 2002). Dalam percobaan ini yang diambil untuk variabel berikutnya adalah 20 FPU dengan kadar bioetanol 0,45%.

Pengaruh Konsentrasi *S. cerivisae* Terhadap Produk Bioetanol

Produksi bioetanol dengan proses SSF juga dipengaruhi oleh konsentrasi bakteri yang diberikan. Bakteri yang digunakan untuk mengkonversi glukosa menjadi bioetanol adalah *S. Cerivisae*. Enzim dengan konsentrasi 20 FPU digunakan pada variable selanjutnya dengan menggunakan *S. Cerivisae* 2, 4 dan 6 ose dengan kondisi SSF yang sama. Variasi bakteri dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari *S. Cerivisae* dalam menguraikan glukosa hasil sakarifikasi jerami padi yang menghasilkan bioetanol. Bioetanol yang diperoleh dengan variasi bakteri 2 ose, 4 ose dan 6 ose selama 3 hari adalah 0,45%, 0,46% dan 1,07 %.

Hal ini disebabkan oleh aktivitas bakteri yang banyak membuat jerami padi mudah terurai mengubah glukosa dan terkonversi menjadi bioetanol. Semakin banyak jumlah bakteri yang diberikan, semakin besar kadar bioetanol yang dihasilkan.

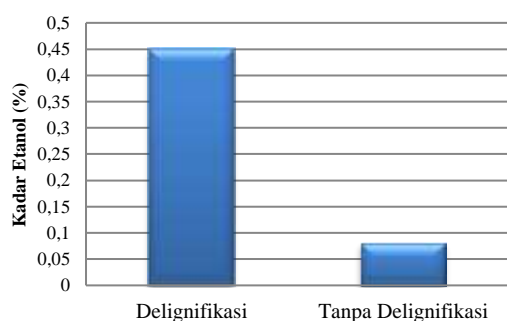


Gambar 4. Grafik Hubungan antara Kadar Bioetanol dengan Jumlah bakteri yang Diberikan, Fermentasi berlangsung dalam asam asetat *buffer* pada pH = 5 dan T = 30° selama 3 hari.

Dapat dilihat pada Gambar 4 yang menunjukkan bahwa besarnya jumlah bakteri yang diberikan mempengaruhi besarnya kadar bioetanol yang dihasilkan. Selain variasi bakteri dan kadar enzim yang diberikan, waktu fermentasi juga mempengaruhi kadar bioetanol. Semakin lama waktu fermentasi maka kadar bioetanol yang dihasilkan juga semakin banyak. Hal ini dibuktikan dengan variasi bakteri 4 ose selama 8 hari yang menghasilkan kadar bioetanol sebesar 1,39%. Kadar bioetanol yang didapat dari proses SSF lebih baik jika dibandingkan dengan metode fermentasi biasa (Ariyani, 2013). Lamanya waktu fermentasi membuat pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri akan semakin banyak, sehingga proses penguraian gula menjadi bioetanol semakin cepat dan maksimal mengakibatkan kadar bioetanol yang didapatkan menjadi besar (Novia, et al, 2008).

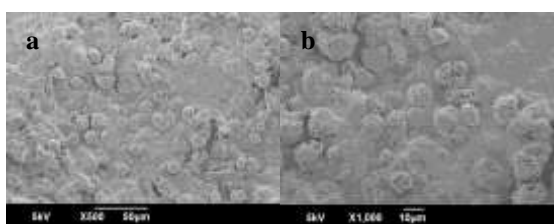
Kecilnya kadar bioetanol yang diperoleh pada proses SSF (*S. Cerivisae*, 4 ose) dikarenakan terjadinya oksidasi bioetanol menjadi asetaldehid dan selanjutnya dioksidasi menjadi asam asetat. Kondisi ini akan mengakibatkan media fermentasi semakin asam (terjadi perubahan pH) sehingga membuat kadar bioetanol menjadi kecil. Hal ini dapat juga disebabkan meningkatnya pembentukan produk yang diikuti pula dengan meningkatnya panas larutan sehingga suhu medium meningkat. Pada SSF yang dilakukan suhu tidak dijaga konstan dan berlangsung pada suhu ruang. Kemungkinan lain adalah karena salah satu sifat bioetanol yang mudah menguap, hal ini dapat terjadi pada saat proses pemindahan sampel (Rhonny dan Danang, 2003).

Proses delignifikasi jerami padi dengan *treatment* menggunakan 2% NaOH dilakukan untuk melepas dan menghancurkan komponen lignin dan hemiselulosa, hal ini untuk memaksimalkan kadar bioetanol yang dihasilkan pada tahap SSF. Bioetanol yang didapatkan pada proses SSF tanpa delignifikasi adalah 0,08 % dan jerami padi yang dilignifikasi sebesar 0,45%. Pecahnya struktur lignin dan kasarnya permukaan membuat enzim selulase lebih mudah mengkonversi glukosa yang selanjutnya difermentasi menjadi bioetanol. Kadar bioetanol yang dihasilkan setelah proses delignifikasi mengalami peningkatan sebesar 82,2% (Gambar 5).



Gambar 5 Grafik Perbandingan Kadar Bioetanol yang Diperoleh dari Proses SSF Delignifikasi dan Tanpa Lignifikasi pada pH = 5 dan T = 30° selama 3 hari.

Untuk melihat lebih jauh perubahan struktur morfologi setelah proses SSF dilakukan dengan SEM. Dari Gambar 4.5 dapat dilihat perubahan serat jerami padi setelah SSF dari bentuk *sheet* menjadi granular, perubahan ini akibat kerja enzim selulase dan aktivitas mikroba yang bekerja terhadap jerami padi.



Gambar 6 SEM images dari jerami padi (a) jerami sesudah fermentasi pada perbesaran 500 kali (b) jerami sesudah fermentasi pada perbesaran 1000 kali.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa *Pretreatment* dengan 2% NaOH meningkatkan konsentrasi selulosa yang dikandung jerami padi, sehingga kadar bioetanol yang dihasilkan meningkat sebesar 82%. Kadar bioetanol yang paling besar dengan proses SSF pada variasi konsentrasi enzim adalah

20 FPU (2 ose) yaitu 0,45% dan variasi *Saccharomyces cerevisiae* pada 6 ose (enzime selulase 20 FPU) yaitu 1,07%. Pada proses SSF yang memberikan kadar bioetanol yang paling besar yaitu 1,07% pada konsentrasi enzim selulase 20 FPU dengan 6 ose *Saccharomyces cerevisiae*. Perubahan struktur morfologi jerami pada dari kasar (amorph) menjadi halus (*sheet*) dan nilai *CrI* (*CrI*) meningkat menjadi 33,24% setelah *pretreatment* dengan NaOH. Pada proses SSF yang memberikan kadar bioetanol yang paling besar yaitu 1,07% pada konsentrasi enzim selulase 20 FPU dengan 6 ose *Saccharomyces cerevisiae*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih atas bantuan dan kerja sama yang baik dari berbagai pihak baik dari Laboratorium Kimia, Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) maupun pihak Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- AHMAD, G. 2008. Bioetanol sebagai Energi Alternatif.
- ARIYANI ENDANG, ERSANGHONO KUSUMO, DAN SUPARTONO. 2013. Produksi Bioetanol dari Jerami Padi. *Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang*. Banjarbaru, D. P. K. 2010.
- BON WOOK-KOO, HO-YONG KIM, NAHYUN PARK, SOO-MIN LEE, HWANMYEONG YEO, AND IN-GYU COI. 2010. Organosolv Pretreatment of Liriodendron Tulipifera and Simultaneous Saccharification and Fermentation for Bioethanol Production. *Seoul National University*:1835.
- DINA, R. N. 2008. Laporan Tugas Akhir Bioetanol dari Jerami. *Universitas Sebelas Maret*.
- GUNAM, I.B., K. BUDA, I.M.Y.S. GUNA. 2010. Pengaruh perlakuan Delignifikasi dengan Larutan NaOH dengan Konsentrasi Substrat Jerami Padi terhadap Produksi Enzim Selulase dari *Aspergillus Niger* NRRL A-II, 264. *Jurnal Biologi*. XIV: 55-61.
- HIDAYAT, R. 2009. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Masa Depan yang ramah Lingkungan. *Institut Pertanian Bogor*.
- HSU, T.-C., G.-L. GUO, W.-H. CHEN, AND W.-S. Hwang. 2010. Effect of dilute acid pretreatment of rice straw on structural properties and enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology* 101:4907-4913.
- INTERAKTIF, T. 2009.

- KARAKASHEV, D., A. B. THOMSEN, AND I. ANGELIDAKI. 2007. Anaerobic biotechnological approaches for production of liquid energy carriers from biomass. *Biotechnol. Lett.* 29:1005–1012.
- KARIMI, K., G. EMTIAZI, AND M. J. TAHERZADEH. 2006. Ethanol production from dilute-acid pretreated rice straw by simultaneous saccharification and fermentation with *Mucor indicus*, *Rhizopus oryzae*, and *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology* 40:138–144.
- KO, J. K., J. S. BAK, M. W. JUNG, H. J. LEE, I.-G. CHOI, T. H. KIM, AND K. H. KIM. 2009. Ethanol production from rice straw using optimized aqueous-ammonia soaking pretreatment and simultaneous saccharification and fermentation processes. *Bioresource Technology* 100:4374–4380.
- NOVIA, M. FAIZAL, M.F. ARIKO, AND D.H. YOGAMINA. 2011. Hidrolisis Enzimatikdan Fermentasi TKKS yang Didelignifikasi dengan Asama Sulfat dan NaOH untuk Produksi Etanol. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3.451-462.
- OLOFSSON, K., M. BERTILSSON, AND G. LIDÉN. 2008. A short review on SSF – an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Lund University*.
- PERRY, R. H. 1999. Chemical Engineering handbook. *Mc. Graw Hill*
- RIYLIZ. 2012. Enzim Selulase.
- RHONNY AND DANANG, 2003. *Laporan Penelitian Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang*. Universitas Pembangunan Nasional, Yogyakarta.
- SANJAYA, W., AND S. ANDRIANTI. 2011. Optimasi Hidrolisis Jerami Padi Menjadi Glukosa Untuk Bahan Baku Biofuel Menggunakan Selulase Dari *Trichoderma Reesei* dan *Aspergillus Niger*. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- SOEPRIJANTO, TIANIKA RATNANINGSIH, AND IRA PRSETYANINGRUM. 2010. Biokonversi Selulosa dari Limbah Tongkol Jagung menjadi Glukosa menggunakan Jamur *Aspergillus Niger*. *Institut Teknologi Sepuluh November*.
- SUN, Y., AND J. CHENG. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production. 1–11.
- VAINIO, ULLA. 2007. *Characterisation Of Cellulose- And Lignin-Based Materials Using X-Ray Scattering Methods*. Finlandia: Helsinki University Printing House.
- YUMIN., LOU, X., WU, H., 2008, *Some Recent Advances in Hydrolysis of Biomass in Hot-Compressed Water and Its Comparisons with Other Hydrolysis Methods*, Energy and Fuels, 22, 46-60.
- ZHANG, Q., AND W. CAI. 2008. Enzymatic hydrolysis of alkali-pretreated rice straw by *Trichoderma reesei* ZM4-F3. *Biomass and Bioenergy* 32:1130-1135.