

## INTISARI

Kebutuhan akan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan semakin lama semakin besar. Di Indonesia, bioetanol menjadi salah satu bahan bakar terbarukan pengganti bensin yang mendapat perhatian. Pada mulanya, bioetanol diproduksi dari senyawa-senyawa yang mengandung pati difermentasikan menjadi etanol. Namun, lama kelamaan cara tersebut dianggap kurang memadai karena tanaman yang mengandung pati merupakan sumber pangan. Jika diperlukan untuk memproduksi bioetanol dalam jumlah besar, hal tersebut dapat mengganggu ketersediaan pangan sehingga perlu dipikirkan bahan baku lain yang tersedia dalam jumlah besar, murah, dan mudah didapat.

Selulosa sebagaimana telah diketahui terdiri dari rantai glukosa bercabang-cabang sehingga secara teori bisa dijadikan sebagai sumber bahan baku bioetanol. Proses pemotongan rantai tersebut disebut dengan hidrolisis. Di alam, selulosa di dalam lignoselulosa tersedia dalam jumlah yang sangat besar dan bisa diperbarui. Lignoselulosa merupakan senyawa penyusun tanaman yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

Pada penelitian ini, hidrolisis dilakukan secara enzimatik, yaitu dengan cara menumbuhkan jamur penghasil enzim selulase, yaitu enzim pemecah rantai selulosa, pada bahan lignoselulosa. Sebagai bahan lignoselulosa dipilih tandan kosong kelapa sawit (TKKS) karena tanaman sawit menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar, yaitu sebanyak 23% dari tandan buah segar yang diolah. Selama ini pemanfaatan TKKS masih minimal dan cenderung dibiarkan menumpuk begitu saja. Jamur penghasil selulase dipilih *Aspergillus niger* karena mudah diperoleh dan sudah terbukti bisa menghasilkan selulase.

Secara umum, ada dua tahapan kerja dalam penelitian ini. Tahapan yang pertama adalah *pretreatment* pada serabut TKKS. Langkah ini bertujuan untuk membuat TKKS siap dihidrolisis. Serabut TKKS bersifat keras, ulet, dan mengandung lignin dalam persentase tinggi, yaitu sekitar 20%. Kondisi tersebut menyebabkan jamur sulit tumbuh. Pada penelitian ini dilakukan eksplorasi *pretreatment* untuk mengetahui kondisi optimal. *Pretreatment* dilakukan dengan beberapa cara dan dilihat mana yang paling efektif. Yang pertama adalah dengan merendam TKKS di dalam air bersuhu 90 °C dengan konsentrasi NaOH bervariasi. Cara ini tidak efektif karena jamur tidak bisa tumbuh dan struktur TKKS yang telah di-*pretreatment* nyaris tidak mengalami baik perubahan bentuk maupun komposisi. Cara kedua adalah dengan menaikkan suhu proses secara bertahap, yaitu 120 °C, 150 °C, 170 °C dan 180 °C. Semakin tinggi suhu maka struktur TKKS makin lunak dan jamur bisa tumbuh. Diperoleh suhu yang optimal adalah 170 °C dengan konsentrasi NaOH 1%. Di atas suhu tersebut TKKS menjadi hancur dan tidak bisa dipergunakan dalam proses hidrolisis. Cara selanjutnya adalah menghaluskan TKKS sampai menjadi serbuk dan merendamnya di air panas 90 °C atau larutan NaOH konsentrasi tertentu. Hasilnya diketahui ukuran TKKS 80 mesh yang direndam dengan air panas selama 2 jam memberikan hasil gula hidrolisis yang tertinggi, yaitu 10,11 g/L.

Tahapan kedua adalah hidrolisis. Mula-mula jamur *A.niger* ditumbuhkan di media agar miring selama satu minggu kemudian sporanya dipanen. Spora dan larutan media pertumbuhan dimasukkan ke erlenmeyer berisi TKKS yang sudah disterilkan untuk mencegah mikoroganisme lain tumbuh kemudian ditunggu dan dipanen pada waktu-waktu tertentu. Sebagai variabel, diberikan suplai udara dan variasi kadar air dalam penelitian ini. Kadar air yang optimal diperoleh pada 80% sedangkan adanya suplai udara membantu pertumbuhan jamur.

Ada beberapa analisis yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu komposisi TKKS sebelum dan sesudah *pretreatment* serta kadar gula dan protein yang dihasilkan proses hidrolisis. Selain itu dilakukan pula analisis *x-ray diffraction* (X-RD) untuk mengetahui sifat kristalinitas serabut TKKS. Kinetika reaksi hidrolisis dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter yang terkait dengan reaksi, seperti konstanta kecepatan reaksi dan konstanta *half-saturation*. Dari informasi kinetika yang diperoleh, disusun suatu persamaan empiris sederhana untuk membuat prediksi kadar gula maksimum yang bisa diperoleh dari perhitungan tidak rumit tanpa melibatkan simulasi. Prediksi tersebut diharapkan bisa diterapkan pada berbagai bahan dan kondisi. Selain itu, untuk mendapatkan kadar gula yang lebih tinggi dirancang pula suatu sistem semi kontinyu yang terdiri dari rangkaian bioreaktor hidrolisis dan proses pemisahan yaitu filter *semi permeable*. Hal tersebut dimaksudkan untuk menaikkan kadar gula dengan cara mengakumulasi pada filter.

Sebagai hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan 9 hal sebagai berikut:

1. Pada *pretreatment*, eksplorasi kondisi operasi optimum dilakukan pada TKKS yang dipotong-potong sepanjang 1-2 cm dan yang dihaluskan (*milling*) 10-80 mesh. Kondisi operasi optimum pada TKKS yang tidak dihaluskan adalah pada suhu 170 °C dan NaOH 1% dengan konsentrasi gula tertinggi sebesar 5,84 g/L. Sedangkan pada *pretreatment* dengan *milling* diketahui bahwa ukuran butir TKKS pada 80 mesh yang diikuti perendaman dengan air hangat memberikan hasil yang terbaik, yaitu 10,11 g/L.
2. Komposisi lignoselulosa TKKS sesudah *pretreatment* pada suhu yang relatif rendah yaitu 90 °C tidak mengalami perubahan. Jika suhu dinaikkan sampai di atas 120 °C terjadi penurunan konsentrasi lignin dan hemiselulosa serta naiknya konsentrasi selulosa.
3. Aerasi dan pengaturan kadar air merupakan hal yang esensial dalam proses hidrolisis menggunakan jamur secara *in vivo*. Aerasi yang memberikan kontribusi positif pada hasil hidrolisis adalah pada konsentrasi oksigen 21% sedangkan kadar air optimal adalah 80%.
4. Dari studi kinetika *batch* diketahui bahwa:
  - a. Ada proses yang simultan antara produksi gula dan konsumsi gula hasil hidrolisis.
  - b. Untuk proses hidrolisis digunakan index H dan proses konsumsi index C. Dari hasil perhitungan untuk *pretreatment* pada 170 °C dan NaOH 1%, diperoleh bahwa nilai  $\mu_{maxH}$  adalah 0,62 g<sub>substrat</sub>/g<sub>jamur</sub>/hari dan  $\mu_{maxC}$  adalah 11,8 g<sub>gula</sub>/(g<sub>jamur</sub>·hari). Nilai  $K_H$  adalah sebesar 26 g<sub>substrat</sub>/g<sub>jamur</sub> dan  $K_C$  sebesar 4 g<sub>gula</sub>/g<sub>jamur</sub>.
5. Proses produksi dan konsumsi gula yang berlangsung simultan menyebabkan kadar gula hasil hidrolisis tidak bisa tinggi.
6. Dikembangkan korelasi antar kelompok tak berdimensi sederhana untuk memprediksi kadar gula maksimum pada berbagai parameter kinetika reaksi dengan perhitungan sederhana tanpa melibatkan simulasi matematis.
7. Untuk memperoleh kadar gula tinggi dirancang proses hidrolisis dan separasi produk yang berjalan simultan.
8. Dari skema proses simultan tersebut dihitung kebutuhan alat dan perhitungan estimasi dimensinya.
9. Hidrolisis juga dijalankan secara *semi-batch* dan kinetika reaksinya dianalisis. Dari sini dihasilkan model matematis kinetika proses untuk hidrolisis *semi-batch* dalam kolom dengan aerasi serta nilai parameter-parameternya.



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**HIDROLISIS TANDAN KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN *Aspergillus niger* DENGAN METODE SOLID STATE FERMENTATION**

AKIDA MULYANINGTYAS, Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU, PhD; Dr. Ir. Sarto, MSc.

Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Kata kunci: Lignoselulosa, tandan kosong kelapa sawit, *Aspergillus niger*, *solid state fermentation*.

## ABSTRACT

In these recent years, the need for renewable energy sources becomes more decisive. In Indonesia, bioethanol is one of renewable fuels that draw attention as a potential substitute for gasoline. In the beginning, bioethanol was produced from starch-containing compounds and was fermented into ethanol. However, over time, this method is rethought because starch-containing plants are the main source of food. Large-scale bioethanol production may interfere food availability. Then it is necessary to consider another raw material which is readily available, inexpensive, and in large quantities.

Cellulose, as widely known, consists of branched glucose chains so that theoretically can be used as a source of bioethanol feedstock. The process of cutting the chains is called hydrolysis. In nature, cellulose joins two other compounds, i.e. lignin and hemicellulose, to form lignocellulose. This is the main constituent of mostly plants. Lignocellulose is available in very large quantities and can be renewed.

In this research, hydrolysis was done enzymatically by growing a cellulase-producing fungus on lignocellulosic material. As the lignocellulosic material, oil palm empty fruit bunch (OPEFB) was chosen. Solid waste resulted from palm oil production is relatively high, i.e. 23% of fresh fruit bunch processed. So far, the utilization of OPEFB is still minimal and has been amassed for years because of its adversity to be degraded naturally. Its presence also causes other problems related to health, for example as breeding grounds for harmful insects. As the cellulose-producing fungus, *Aspergillus niger* was chosen since it is easy to grow and has been proven to produce cellulase.

In general, there are two work steps in this research. The first step is to perform *pretreatment* on OPEFB. This aims to prepare OPEFB prior to hydrolysis. OPEFB contains around 20% of lignin which is considered as high. Lignin makes OPEFB structure hard and tough. As these conditions prevented *A.niger* to grow, then it is necessary to find suitable treatment to overcome the problems. *Pretreatment* was performed in several methods to find the most effective ones. The first method is to immerse OPEFB in 90 °C of water with various NaOH concentrations. It turned out that this method was ineffective since *A.niger* was still not able to grow. The OPEFB structure remained unchanged nor its composition. The second step was to raise the temperature of the process gradually to 120 °C, 150 °C, 170 °C and 180 °C. Higher temperature softened OPEFB structure and this resulted in fungus growth. It was found that the optimal temperature was 170 °C with 1% NaOH concentration. Above that, OPEFB would be completely destroyed and could not be used in the hydrolysis. The next step was to refine OPEFB to 80 mesh and treated it in hot water or dilute NaOH solution. The highest hydrolysing sugar was obtained by 80 mesh OPEFB immersed in hot water for 2 hours, i.e. 10.11 g/L.

The second stage is hydrolysis. *A. niger* was grown on slant agar medium for one week and then the spore was harvested. Spore and growth medium solution were in the Erlenmeyer containing sterilized OPEFB. Sterilization was compulsory for every involved compound to prevent contamination. Various air supply and moisture content were done. It was found that the optimal moisture content was 80% and air supply supported the fungal growth.

Some analyzes were done in this research. First, the composition of OPEFB before and after pretreatment, and second, sugar and protein concentration after hydrolysis. In addition, X-ray diffraction (X-RD) was also conducted to determine the crystallinity of OPEFB fiber. Kinetic analysis for hydrolysis was done to obtain involved parameters, such as the maximum reaction rate constant and the half saturation constants. From those information, an empirical equation was developed to predict maximum sugar concentration from hydrolysis process. It was expected that this equation was applicable to various materials and conditions of hydrolysis. For higher scale of production, a semi-continuous hydrolysis system consisting of a bioreactor and a semi-permeable filter was designed.

There are 9 concluded points that can be drawn from this research, i.e.

1. Exploration of optimum operating conditions for pretreatment were carried out on OPEFB which were cut into 1-2 cm length and milled into 10-80 mesh. The optimum operating conditions on 1-2 cm OPEFB was at 170 ° C and 1% NaOH with the highest sugar concentration of 5.84 g/L. While on milled OPEFB the optimum size was found on 80 mesh followed by hot water immersion which gave the best result at 10.11 g / L.
2. Lignocellulose composition of OPEFB lignocellulose pretreated at 90 °C has not altered. When the temperature was raised to above 120 °C the composition was altered with a decrease in lignin and hemicellulose concentrations and an increase of cellulose concentration.
3. Aeration and humidity adjustment were essential in biohydrolysis using fungi in vivo. Aeration that gave positive contribution to hydrolysis resulted at 21% oxygen concentration while optimal humidity was at 80%.
4. It was found from batch hydrolysis kinetics study using OPEFB pretreated at 170 oC and NaOH 1% that:
  - a. There were two simultaneous processes happened, i.e. hydrolysis and sugar consumption.
  - b. As hydrolysis was indexed by H and consumption by C, it was found that  $\mu_{\max H}$  and  $\mu_{\max C}$  are 0.62  $\text{g}_{\text{substrate}}/\text{g}_{\text{fungi}}/\text{day}$  and 11.8  $\text{g}_{\text{sugar}}/\text{g}_{\text{fungi}}/\text{day}$  respectively while  $K_H$  and  $K_C$  are 26  $\text{g}_{\text{substrate}}/\text{g}_{\text{fungi}}$  and 4  $\text{g}_{\text{sugar}}/\text{g}_{\text{fungi}}$  respectively.
5. Simultaneous hydrolysis and sugar consumption of sugar prevented the whole process to obtain relatively high sugar concentration.
6. Correlations between simple dimensionless groups on various kinetic parameters was developed. From the formula resulted maximum sugar concentration can be predicted without mathematical simulation.
7. To minimize sugar consumption, simultaneous process of hydrolysis and sugar consumption was designed.
8. Devices requirement and calculation of their dimensions estimation from the design above was estimated.
9. Hydrolysis was also run in semi-batch and the reaction kinetics was analyzed to find mathematical model in the aerated column.

Keywords: Lignocellulose, oil palm empty fruit bunch (OPEFB), *Aspergillus niger*, solid state fermentation.