



Studi Kinetika Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Proses Fermentasi Padat Menggunakan Jamur *Aspergillus niger*

Fitri Nur Kayati^{*}, Siti Syamsiah, Wahyudi Budi Sediawan, dan Sutijan

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No. 2, Kampus UGM, D.I. Yogyakarta, Telp. 0274-902171, Fax. 0274-902170

^{*}Penulis korespondensi : fit.kayati@gmail.com

Abstract

KINETIC STUDY OF HYDROLYSIS OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH (OPEFB) BY SOLID STATE FERMENTATION USING ASPERGILLUS NIGER. *Kinetic of hydrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) by Solid State Fermentation using Aspergillus niger is studied. Hydrolysis of OPEFB to simple sugars using Aspergillus niger as raw material for other products is a potential alternative of bioconversion of lignocellulose. Formulating the kinetics of hydrolysis during solid substrate cultivation is useful for effective scale up of this technology as well as for better understanding of the process. The aim of this study was to develop kinetics models to describe the solid state fermentation of OPEFB. First, OPEFB were ground and classified by size using screen, with size range of -30+40 mesh, -40+80 mesh and -80 mesh. It turned out that the proposed based on first order reaction kinetics model can quantitatively describe the process reasonably well. Furthermore, the values of the parameters involved in the kinetics models for each size for OPEFB particle were also obtained. The smaller the particle, the larger the hydrolysis reaction rate constant would be. It means that the rate of hydrolysis increases by the reduction of the particle size. Meanwhile, the sugars consumption rate constant decreases also by the reduction of OPEFB particle size. The highest concentration of simple sugars produced in this experiment was 7.847 g/L.*

Keywords: *Aspergillus niger; kinetic; OPEFB; particle size; solid state fermentation*

Abstrak

Hidrolisis tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi gula sederhana dengan menggunakan jamur Aspergillus niger merupakan alternatif biokonversi lignoselulosa yang potensial. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model kinetika untuk mendeskripsikan proses fermentasi padat dengan bahan baku TKKS. Tahap pertama, TKKS digiling dan dikelompokkan sesuai ukuran dengan menggunakan ayakan, dengan variasi ukuran antara -30+40 mesh, -40+80 mesh dan -80 mesh. Model kinetika yang telah disusun didasarkan pada reaksi orde satu. Model tersebut dapat menggambarkan secara kuantitatif proses fermentasi tersebut. Selain itu, nilai-nilai parameter dalam kinetika reaksi untuk setiap ukuran partikel juga akan diperoleh dari model tersebut. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar pula konstanta kecepatan reaksi hidrolisis. Sebaliknya konstanta konsumsi gula menurun seiring dengan penurunan ukuran partikel TKKS. Konsentrasi gula sederhana tertinggi yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah sebesar 7,847% g/L.

Kata kunci: *Aspergillus niger; kinetika; TKKS; ukuran partikel; fermentasi padat*

How to Cite This Article: Kayati, F.N., Syamsiah, S., Sediawan, W.B., dan Sutijan, (2016), Studi Kinetika Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Proses Fermentasi Padat menggunakan Jamur *Aspergillus niger*, Reaktor, 16(1), 1-8, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.1.1-8>

PENDAHULUAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit. Indonesia sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di dunia dengan produksi minyak sawit sebesar 27,7 juta ton pada tahun 2013 (Dirjen Perkebunan RI, 2014) memiliki potensi limbah TKKS yang sangat besar. Kandungan selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi pada TKKS (33,25% dan 23,24%) (Sudiyani dkk., 2010) menarik untuk dikaji lebih lanjut oleh para peneliti menjadi glukosa yang merupakan bahan baku energi terbarukan.

Biokonversi TKKS menjadi glukosa dengan solid state fermentation (SSF) lebih memungkinkan untuk dilakukan karena sifat TKKS yang liat dan tidak mudah larut. Beberapa bakteri, yeast, dan jamur seperti *Clostridium botulinum* (milk), *Candida utilis* (peningkatan protein pakan ternak), *Aspergillus oryzae* (produksi Koji) mampu tumbuh dengan baik pada substrat padat dengan sistem SSF (Pandey dkk., 2008). Namun jamur merupakan spesies yang paling baik beradaptasi untuk proses SSF (Krishna, 2005). Jamur *Aspergillus niger* merupakan spesies jamur yang mampu menghasilkan 20 jenis enzim ekstraseluler dan lazim digunakan pada produksi enzim selulase. Enzim selulase tersebut mampu mendegradasi selulosa menjadi gula sederhana.

Selain tergantung pada jenis mikroba, optimalisasi proses SSF juga dipengaruhi oleh faktor pemilihan substrat. Substrat yang sesuai untuk proses SSF tergantung pada kristalinitas, ukuran partikel, dan porositas (Krishna, 2005). Pengurangan ukuran partikel menggunakan mesin penggiling (*milling machine*) akan menghasilkan yield glukosa yang semakin tinggi dan bisa menjadi metode *pretreatment* selulosa yang menarik pada hidrolisa enzimatis (Yeh dkk., 2010).

Pengurangan ukuran partikel selulosa akan meningkatkan afinitas antara selulosa dan enzim sehingga hidrolisa akan berlangsung semakin cepat. Kecepatan hidrolisis meningkat dua kali lipat dalam 10 jam ketika ukuran partikel substrat berkurang dari 82 menjadi 38 μm (Gan dkk., 2003). Pada penelitian Dasari dan Benson (2009) produksi gula pereduksi naik 55% selama 72 jam hidrolisa selulosa ketika ukuran substrat berkurang dari 590 menjadi 33 μm . Beberapa penelitian tentang kinetika hidrolisa enzimatis umumnya menggunakan substrat selulosa murni (Mitchell dkk., 2011; Yeh dkk., 2010). Penelitian ini akan melihat pengaruh ukuran partikel substrat TKKS pada produksi gula pereduksi oleh *Aspergillus niger*, parameter kinetika, dan kecepatan hidrolisa.

Fundamental

Secara khusus reaksi biokimia yang terjadi pada proses fermentasi dengan substrat tandan kosong kelapa sawit dapat dituliskan sebagai berikut :



dengan S = selulosa, X = *Aspergillus niger*, P = gula sederhana, dan M = senyawa hasil metabolisme *Aspergillus niger* setelah mengkonsumsi gula sederhana, B = maintenance sel *Aspergillus niger*.

Model kinetika disusun berdasarkan beberapa asumsi proses berikut ini:

1. Jamur *Aspergillus niger* mengeluarkan enzim selulase (E) untuk menghidrolisis selulosa pada TKKS menjadi gula sederhana. Reaksi hidrolisis selulosa menjadi gula sederhana mengikuti persamaan berikut :

$$\mu_h = \frac{\mu_{max} h C_S}{K_h + C_S} \quad (4)$$

2. Sebagian gula yang terbentuk dikonsumsi oleh jamur *Aspergillus niger* untuk pertumbuhan jamur dan *maintenance*. Kecepatan konsumsi gula mengikuti persamaan berikut :

$$\mu_c = \frac{\mu_{max} C_P}{K_c + C_P} \quad (5)$$

Persamaan 4 dan 5 merupakan persamaan pertumbuhan jamur yang mengikuti persamaan Monod. Persamaan Monod tersebut dapat disederhanakan menjadi dua persamaan yang biasa dipakai pada pemodelan fermentasi padat. Penyederhanaan pertama persamaan tersebut dapat dilakukan apabila nilai C_S jauh lebih kecil dari K_h ($C_S \ll K_h$) dan nilai C_P jauh lebih kecil dari K_c ($C_P \ll K_c$) sehingga persamaan dapat dianggap sebagai kinetika reaksi orde satu (Model 1) seperti terlihat pada Tabel 1.

Persamaan 6 dan 7 disebut sebagai persamaan pendekatan orde satu karena konstanta kecepatan pertumbuhan spesifik dari mikroba berbanding lurus dengan konsentrasi substrat pada nilai rendah dan tidak tergantung pada konsentrasi substrat pada nilai tinggi. Walaupun persamaan pendekatan orde satu mudah digunakan daripada persamaan Monod, namun perlu berhati-hati dalam penggunaannya karena bisa menghasilkan kesalahan yang cukup besar jika konsentrasi substrat tidak relatif lebih kecil daripada nilai konstanta Monod (K_h dan K_c).

Tabel 1. Model kinetika dalam hidrolisis selulosa (μ_h) dan kinetika dalam konsumsi gula (μ_c)

Model 1		Model 2	
Asumsi	Persamaan	Asumsi	Persamaan
$C_s \ll K_h, C_p \ll K_c$	$\mu_h = \left[\frac{\mu_{max h}}{K_h} \right] C_s = k_h C_s$ (6)	$C_s \gg K_h$	$\mu_h = \mu_{max h}$ (8)
	$\mu_c = \left[\frac{\mu_{max c}}{K_c} \right] C_p = k_c C_p$ (7)	$C_p \gg K_c$	$\mu_c = \mu_{max c}$ (9)

Penyederhanaan yang kedua adalah apabila nilai konsentrasi substrat jauh lebih besar daripada nilai konstanta Monod ($C_s \gg K_h$ dan $C_p \gg K_c$). Sehingga persamaan dapat dianggap sebagai kinetika reaksi orde nol (Model 2) seperti terlihat pada Tabel 1. Nilai K yang rendah menunjukkan bahwa mikroba tersebut mempunyai afinitas tinggi untuk substratnya maka laju pertumbuhan spesifik tidak dipengaruhi oleh konsentrasi substrat, atau orde nol terhadap C_s , dan setara dengan koefisien laju pertumbuhan spesifik maksimum.

- Neraca massa selulosa disusun dengan asumsi bahwa jumlah enzim yang terdapat dalam sistem berbanding lurus dengan jumlah jamur *Aspergillus niger* pada sistem.

$$\frac{dC_S}{dt} = -\mu_h \cdot C_E = -\mu_h \cdot \beta \cdot C_X \quad (10)$$

- Neraca massa gula disusun dengan asumsi :

- Gula yang terbentuk sebagian dikonsumsi untuk pertumbuhan dan *maintenance* jamur *Aspergillus niger*.
- Kecepatan konsumsi gula untuk *maintenance* setara dengan jumlah jamur *Aspergillus niger*

$$\frac{dC_P}{dt} = \beta \cdot \mu_h \cdot C_X \cdot Y_{P/S} - \mu_c \cdot C_X - \mu_{main} \cdot C_X \quad (11)$$

- Neraca massa jamur *Aspergillus niger* disusun dengan asumsi bahwa sebagian jamur yang terbentuk telah mengalami kematian.

$$\frac{dC_X}{dt} = \mu_c \cdot C_X \cdot Y_{X/P} - \alpha \cdot C_X \quad (12)$$

- Pembentukan asam oleh jamur *Aspergillus niger* dari mengkonsumsi gula

$$\frac{dC_A}{dt} = \mu_c \cdot C_X \cdot Y_{A/P} \quad (13)$$

METODE PENELITIAN

Sampel tandan kosong kelapa sawit (TKKS) diperoleh dari Balai Besar Teknologi Pati (B2TP-BPPT) Lampung. Langkah selanjutnya adalah pemisahan dengan menggunakan *vibrating screen* dengan ukuran mesh ayakan: 30, 40, dan 80. Hasil pengayakan dikelompokkan menjadi tiga variasi diameter berdasarkan ukuran mesh ayakan yaitu: TKKS yang paling halus -80 mesh, TKKS berukuran 40+80 mesh, dan TKKS berukuran -30+40 mesh.

Perlakuan awal TKKS dilakukan dengan perendaman 10 gram TKKS dalam larutan NaOH 10% (w/v) pada suhu 90°C selama 2 jam. Kemudian dilakukan pencucian dan penyaringan dengan air hingga pH filtrat netral. Metode ini merupakan modifikasi dari metode *pretreatment* yang telah dilakukan oleh Umi Kalsom dkk. (1998). TKKS tersebut kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 24 jam hingga diperoleh berat kering yang konstan untuk bahan penelitian

(Barrington dan Kim, 2008). Selanjutnya TKKS tersebut dianalisis kadar lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) dengan metode Chesson (Datta, 1981).

Jamur *Aspergillus niger* yang dijadikan indukan diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi PAU UGM. *Aspergillus niger* dibiakkan dalam medium PDA (*Potato Dextrose Agar*) miring, kemudian diinkubasi pada suhu 28°C selama 7 hari.

Prosedur fermentasi mengikuti prosedur pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Widiyanti (2014). *Aspergillus niger* hasil biakan diinokulasikan ke dalam substrat dengan menambahkan medium pra kultur (garam fisio) dengan komposisi NaCl 0,85% ke dalam tabung reaksi yang berisikan biakan jamur.

Proses fermentasi dilakukan secara *batch*, dengan pengulangan dua kali untuk setiap variasi ukuran TKKS. Sebanyak 5 gram TKKS dimasukkan dalam setiap erlenmeyer 250 ml dan disterilkan terlebih dulu dengan *autoclave* pada suhu 121°C selama 15-20 menit. Medium basal ditambahkan sebanyak 16 ml sebagai nutrisi. Komposisi medium basal : 4 gram KH₂PO₄, 1,2 gram MgSO₄, 1,2 gram CaCl₂ dan 2 gram yeast ekstrak. Setiap erlenmeyer diinokulasi dengan 4 ml garam fisio yang mengandung spora dan diinkubasi pada suhu 28°C selama 10 hari.

Pengambilan sampel dilakukan setiap hari, dimulai pada hari ke-1 hingga hari ke-10. Setiap pengambilan sampel dilakukan pengecekan pH. Sampel kemudian disterilisasi dengan *autoclave* pada suhu 121°C selama 20 menit untuk mematikan spora dan enzimnya sehingga proses fermentasi terhenti. Sampel kemudian diencerkan dengan menambahkan 25 ml aquadest, dan diaduk agar sampel homogen. Proses pemisahan sampel padatan dan cairan dilakukan dengan *centrifuge* pada kecepatan 6000 rpm selama 20 menit. Hasil *centrifuge* disaring dan filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis gula sederhananya dengan metode DNS dengan mengukur absorbansinya pada 540 nm (Miller, 1959).

Pertumbuhan jamur dianalisis secara tidak langsung melalui konsentrasi protein dari jamur. Analisis protein dilakukan dengan menggunakan metode Lowry (Lowry dkk., 1951). Menurut Abd-aziz dkk. (2008), korelasi antara konsentrasi protein dengan metode Lowry dan berat kering sel dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Fungal Dw = \frac{(Protein\ concentration - 0,01)}{3,03} \quad (14)$$

Perhitungan Tetapan Model Kinetika

Model matematika terdiri dari 4 persamaan differensial ordiner (persamaan 8, 9, 10, 11) dan 8 tetapan. Delapan tetapan dalam persamaan tersebut akan ditebak dengan bantuan program MATLAB pada kondisi batas: $t = 0, C_s = C_{s0}, C_p = 0,$ dan $C_x = C_{x0}$. Algoritma perhitungan ditunjukkan pada Gambar 1. Fungsi tujuan *Sum Squares of Errors* (SSE) sebagai berikut:

$$SSE = \sum(Cp_{data} - Cp_{hitung})^2 \quad (15)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perendaman NaOH sebelum proses fermentasi bertujuan untuk merusak struktur lignin pada lignoselulosa. Kristalisasi selulosa dan pengerasan fibril selulosa oleh lignin membentuk suatu senyawa lignoselulosa yang keras sehingga menghambat enzim dalam menghidrolisis selulosa. Perlakuan perendaman NaOH 10% dilakukan pada suhu 90 °C selama 2 jam. Perubahan komposisi lignoselulosa setelah perendaman NaOH dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil analisa lignoselulosa menunjukkan penurunan kadar hemiselulosa dari 17,88% menjadi 13,12% dan penurunan lignin dari 22,28% menjadi 20,38%. Penurunan tersebut akibat dari rusaknya lignin yang membungkus selulosa dan hemiselulosa.

Sehingga sebagian lignin dan hemiselulosa terlarut dalam larutan basa NaOH.

Besarnya kehilangan hemiselulosa dan lignin mengakibatkan persentase selulosa TKKS yang diberi perlakuan delignifikasi meningkat dari 35,20% pada bahan baku menjadi 55,25% .

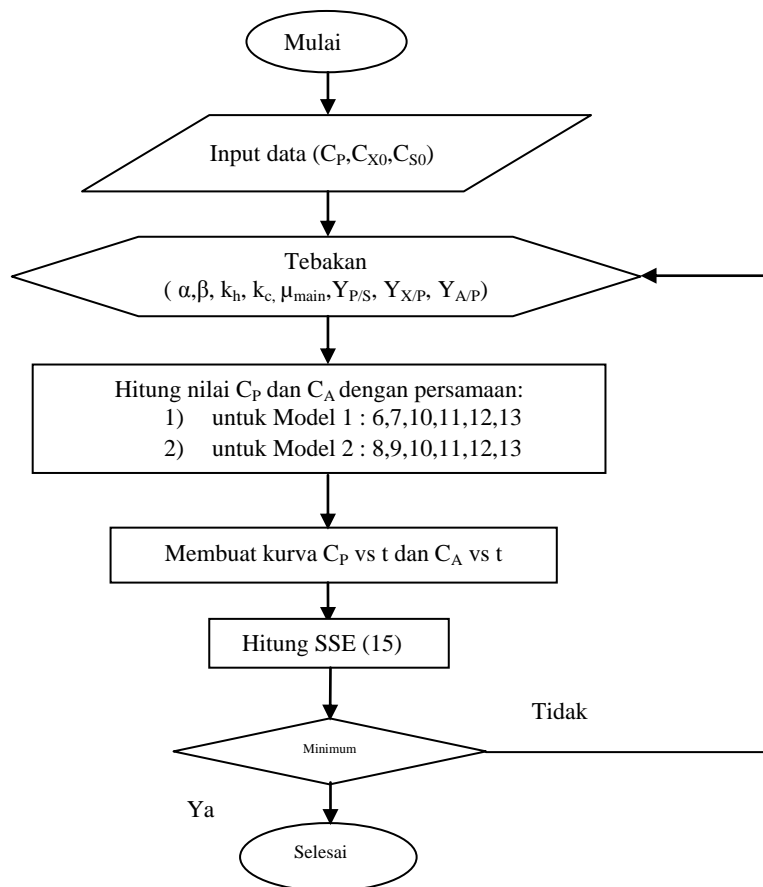
Tabel 2. Perbandingan komposisi lignoselulosa sebelum dan sesudah perendaman NaOH

Komponen	Komposisi, %	
	Sebelum perendaman NaOH 10%, 90 °C, 2 jam	Setelah perendaman NaOH 10%, 90 °C, 2 jam
Selulosa	35,20	55,25
Hemiselulosa	17,88	13,12
Lignin	22,28	20,38
Lain-lain*	24,64	11,25

Lain-lain*: kandungan air dan *extractive compound*

Pertumbuhan Jamur *Aspergillus Niger* Selama Proses *Solid State Fermentation* (SSF)

Hasil pengamatan visual pertumbuhan jamur selama fermentasi berlangsung menunjukkan pertumbuhan jamur yang lebih subur terjadi pada ukuran partikel yang lebih halus. Hal tersebut didukung oleh hasil analisa protein yang semakin tinggi konsentrasinya pada ukuran TKKS yang semakin halus (Tabel 3).

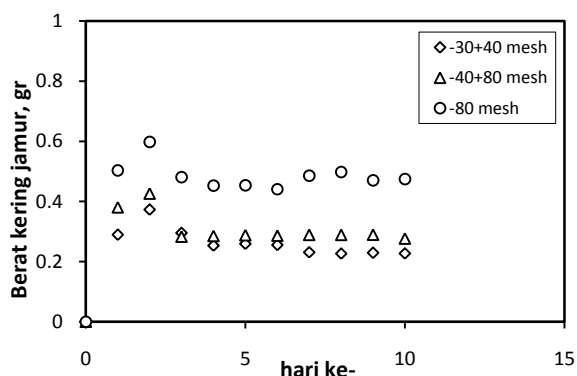


Gambar 1. Algoritma perhitungan model kinetika

Tabel 3. Konsentrasi protein pada berbagai ukuran TKKS selama proses SSF

Hari ke-	Konsentrasi protein, g/L		
	-80 mesh	-40+80 mesh	-30+40 mesh
1	1,534	1,162	0,886
2	1,822	1,301	1,140
3	1,467	0,867	0,904
4	1,382	0,874	0,777
5	1,385	0,882	0,795
6	1,345	0,877	0,783
7	1,482	0,885	0,710
8	1,518	0,885	0,697
9	1,435	0,886	0,704
10	1,448	0,848	0,698

Pertumbuhan jamur diperoleh dengan mengkonversi konsentrasi protein dengan berat kering jamur. Hasil perhitungan berat kering sel jamur pada berbagai ukuran TKKS selama proses fermentasi padat dengan *Aspergillus niger* dapat dilihat pada Gambar 2.



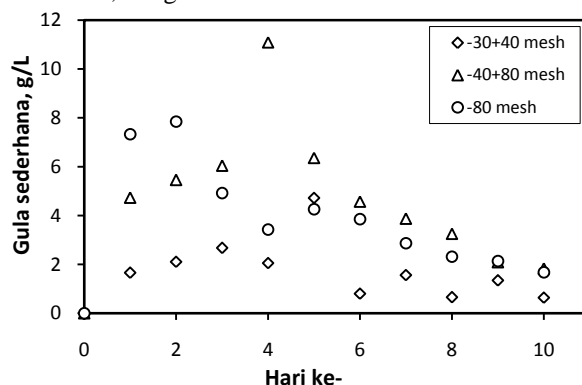
Gambar 2. Pengaruh ukuran partikel pada pertumbuhan jamur.

Pertumbuhan jamur terlihat naik pada hari 1 dan 2, kemudian akan berfluktuasi namun tidak signifikan hingga hari ke-10. Pola tersebut sama untuk masing-masing ukuran partikel. Walaupun terjadi fluktuasi namun jumlah kematian dan pertumbuhan relatif seimbang, sehingga pertumbuhan jamur dapat dianggap mengalami masa stasioner dari hari ketiga hingga hari kesepuluh. Semakin halus ukuran partikel, pertumbuhan jamur semakin tinggi. Hal tersebut sesuai dengan yang dikemukakan oleh Nigam dan Pandey (2009) bahwa ukuran partikel yang lebih kecil akan memberikan luas area permukaan yang lebih besar per volume substrat dan memungkinkan kontak penuh antara mikroorganisme dengan nutrisi, sehingga pertumbuhan mikroba semakin baik. Pertumbuhan jamur tertinggi pada ukuran TKKS -80 mesh yaitu sebesar 0,598 gram berat kering jamur (konsentrasi protein 1,822 g/L).

Produksi Gula Sederhana Selama Proses Solid State Fermentation (SSF)

Produksi gula sederhana selama proses fermentasi TKKS oleh jamur *Aspergillus niger* pada berbagai ukuran partikel substrat menunjukkan hasil yang semakin tinggi pada ukuran partikel yang

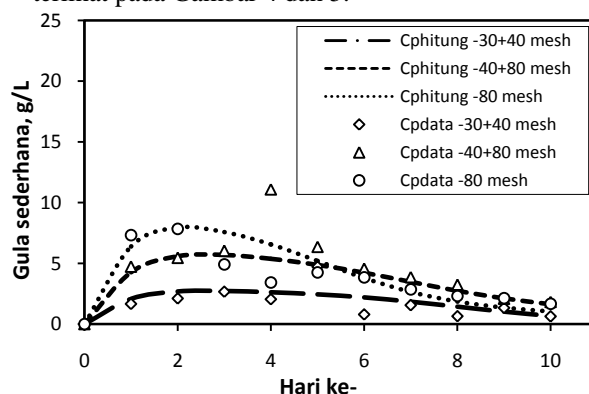
semakin halus (Gambar 3). Konsentrasi gula sederhana tertinggi pada ukuran TKKS -80 mesh yaitu sebesar 7,847 g/L.



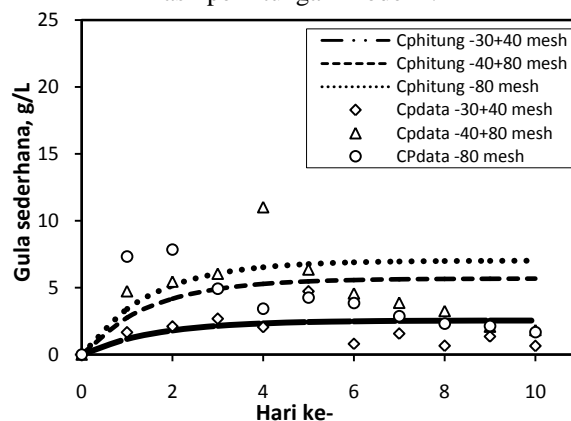
Gambar 3. Pengaruh ukuran partikel pada produksi gula sederhana.

Model Kinetika Solid State Fermentation pada Berbagai Ukuran TKKS

Pada penelitian ini disusun dua model kinetika untuk fermentasi padat TKKS pada berbagai ukuran. Kedua model tersebut telah dicoba simulasinya dengan data hasil percobaan laboratorium (C_{s0} , C_{x0} , C_p) dengan penyelesaian menggunakan Matlab 2010a (Gambar 1). Hasil dari simulasi kedua model tersebut terlihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Pengaruh ukuran partikel pada produksi gula sederhana hasil eksperimen dan gula sederhana hasil perhitungan Model 1.



Gambar 5. Pengaruh ukuran partikel pada produksi gula sederhana hasil eksperimen dan gula sederhana hasil perhitungan Model 2.

Perhitungan C_p pada Model 1 menggunakan pendekatan reaksi orde satu untuk kinetika hidrolisis selulosa dan konsumsi gula oleh jamur menunjukkan hasil yang cukup mendekati dengan C_p data percobaan.

Sedangkan Model 2 menggunakan pendekatan reaksi orde nol untuk kinetika hidrolisa selulosa dan konsumsi glukosa. Apabila dibandingkan terlihat bahwa Model 1 lebih mendekati hasil pengujian apabila dibandingkan dengan Model 2. Kesesuaian Model 1 dengan hasil pengujian produksi gula sederhana ditunjukkan oleh nilai *sum squares of errors* (SSE) yang cukup kecil (Tabel 4). Nilai parameter reaksi seperti k_c , k_h dan α menunjukkan perubahan pada ukuran TKKS yang berbeda.

Tabel 4. Hasil perhitungan parameter kinetika Model 1

Parameter	-80 mesh	-40+80 mesh	-30+40 mesh
β	4	4	4
α	0,00001	0,00021	0,00025
k_h	0,044	0,063	0,078
k_c	2,95	2	1,8
SSE	19,998	35,789	8,718

Semakin halus ukuran TKKS, nilai k_h semakin tinggi. Hal tersebut berarti kecepatan hidrolisis selulosa semakin meningkat pada ukuran TKKS yang semakin halus. Sedangkan nilai k_c semakin turun pada ukuran partikel yang semakin halus. Hal tersebut menunjukkan kecepatan konsumsi gula oleh jamur semakin menurun pada ukuran partikel yang semakin halus. Penurunan konsumsi gula oleh jamur membuka peluang untuk mengoptimalkan pengambilan produk gula sederhana sebagai bahan baku bioethanol. Namun perlu dicermati waktu pengambilan tepat untuk mendapatkan konsentrasi gula sederhana yang optimum. Konstanta kematian sel jamur (α) menunjukkan kecepatan kematian jamur selama proses fermentasi. Konstanta kematian semakin besar pada ukuran partikel yang semakin halus, hal tersebut kemungkinan disebabkan pada ukuran yang lebih halus terjadi kompetisi jumlah jamur yang lebih banyak, dan kondisi pH yang turun lebih signifikan (Gambar 7).

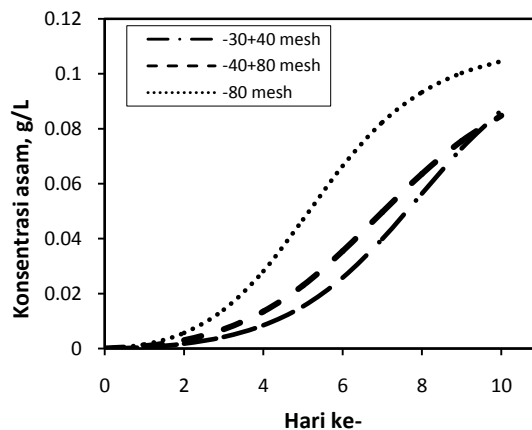
Penelitian tentang pengaruh ukuran partikel terhadap kinetika hidrolisa selulosa secara enzimatik dengan menggunakan model Michaelis Menten telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Yeh dkk., 2010; Johnston dkk, 1998). Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan penurunan ukuran partikel selulosa akan meningkatkan kecepatan reaksi hidrolisis. Hal tersebut terlihat dari nilai μ_{max} yang semakin tinggi pada ukuran partikel selulosa yang semakin halus, serta nilai K_m yang semakin turun pada ukuran partikel selulosa yang semakin halus (Yeh dkk., 2010; Johnston dkk., 1998). Pada ukuran yang semakin kecil, nilai μ_{max} yang semakin naik dan K_m yang semakin turun akan memberikan nilai K_h pada reaksi orde satu yang semakin besar (Persamaan 2). Meskipun model kinetika yang dipergunakan sedikit

berbeda, namun hasil penelitian tersebut menunjukkan korelasi yang sama antara ukuran partikel substrat dan kecepatan reaksi hidrolisis.

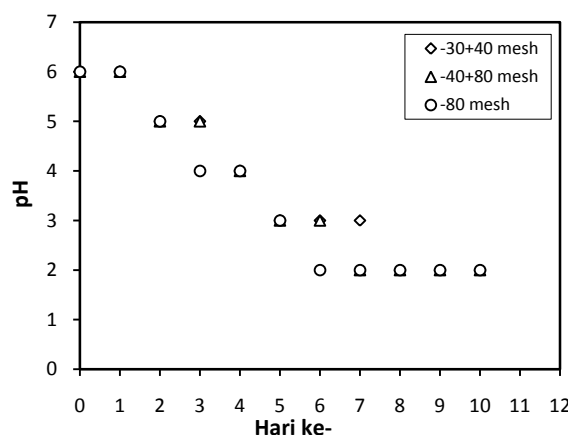
Hasil penelitian Yeh dkk. (2010) menjelaskan bahwa pengurangan ukuran partikel dengan proses *milling* akan meningkatkan yield glukosa pada hidrolisis selulosa secara enzimatik. Oleh karena itu *milling* akan menjadi proses *pretreatment* yang menarik untuk dilakukan sebelum proses hidrolisa ataupun fermentasi selulosa.

Produksi Asam Organik Selama Proses Solid State Fermentation (SSF)

Hidrolisis TKKS dengan jamur *Aspergillus niger* yang dilakukan dengan metode *solid state fermentation* (SSF) selain menghasilkan gula sederhana juga terbentuk hasil samping berupa asam organik. Hasil konsentrasi asam organik diperoleh dari perhitungan persamaan 13 dengan menggunakan kinetika Model 1.



Gambar 6. Pengaruh ukuran partikel pada produksi asam organik hasil perhitungan Model 1



Gambar 7. Pengaruh ukuran partikel pada kondisi pH selama proses fermentasi TKKS oleh jamur *Aspergillus niger*

Gambar 6 menunjukkan konsentrasi asam organik yang semakin tinggi pada ukuran TKKS yang semakin halus. Penumpukan asam organik selama

proses fermentasi menyebabkan terjadinya penurunan pH yang cukup signifikan. Hasil pengamatan pH terlihat menurun setiap harinya, dan mulai konstan pada kisaran pH 2 pada hari ke-8 (Gambar 7). Pada ukuran TKKS yang lebih halus, penurunan pH lebih cepat, menunjukkan jumlah asam yang terbentuk lebih banyak dan kecepatan pembentukan asam organik juga berlangsung lebih cepat.

KESIMPULAN

Perendaman NaOH 10% pada suhu 90°C selama 2 jam mampu mengurangi kadar lignin dari 22,28% menjadi 20,38% dan kadar hemiselulosa dari 17,88% menjadi 13,12%. Semakin halus ukuran partikel, pertumbuhan jamur semakin baik. Pertumbuhan jamur tertinggi pada ukuran TKKS -80 mesh yaitu sebesar 0,598 gram berat kering jamur (konsentrasi protein 1,822 g/L).

Semakin halus ukuran partikel, konsentrasi gula sederhana yang dihasilkan semakin tinggi. Konsentrasi gula sederhana tertinggi pada ukuran TKKS -80 mesh yaitu sebesar 7,847 g/L. Kinetika Model 1 dengan persamaan pendekatan orde satu dapat menggambarkan secara kuantitatif proses fermentasi. Nilai k_h semakin besar pada ukuran TKKS yang semakin halus. Nilai k_c semakin kecil pada ukuran TKKS semakin halus.

DAFTAR NOTASI

C_S	= konsentrasi substrat selulosa, g/L
C_P	= konsentrasi gula sederhana, g/L
C_X	= konsentrasi sel jamur, g/L
C_A	= konsentrasi asam organik, g/L
k_h	= konstanta kecepatan reaksi hidrolisaselulosa, hari ⁻¹
k_c	= konstanta kecepatan reaksi konsumsi gula, hari ⁻¹
$\alpha ; \beta$	= konstanta
μ_c	= kecepatan pertumbuhan jamur dalam konsumsi glukosa, g/L.hari
μ_h	= kecepatan pertumbuhan jamur dalam hidrolisis selulosa, g/L.hari
μ_{main}	= kecepatan konsumsi gula untuk <i>maintenance</i> , g/L.hari
μ_{maxh}	= kecepatan pertumbuhan jamur maksimum dalam hidrolisis substrat selulosa, g/L.hari
μ_{maxc}	= kecepatan pertumbuhan jamur maksimum dalam konsumsi glukosa, g/L.hari
K_h	= konstanta Monod untuk hidrolisa substrat selulosa, g/L
K_c	= konstanta Monod untuk konsumsi glukosa, g/L
$Y_{x/S}$	= yield sel jamur terhadap substrat selulosa, g/g
$Y_{x/P}$	= yield sel jamur terhadap produk glukosa, g/g
$Y_{p/S}$	= yield glukosa terhadap substrat selulosa, g/g

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Aziz, S., Hung, G.S., Hassan, M.A., Abdul Karim, M.I., and Samad, N., (2008), Indirect method for quantification of cell biomass during solid state fermentation of palm kernel cake based on protein content, *Asian Journal of Scientific Research*, 1(4), pp. 385-393.
- Barrington, S. and Kim, J.W., (2008), Response surface optimization of medium components for citric acid production by *Aspergillus niger* NRRL 567 grown in peat moss, *Bioresource Technology*, 99, pp. 368-377.
- Dasari, R.K. and Berson, R. E., (2009), The effect of particle size on hydrolysis reaction rates and rheological properties in cellulosic slurries, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 136, pp. 289-300.
- Datta, R., (1981), Acidogenic fermentation of lignocellulose-acid yield and conversion of components, *Biotechnology and Bioengineering*, 23 (9), pp. 2167-2170.
- Dirjen Perkebunan RI, (2014), *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2013-2015*, Laporan Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Gan, Q., Allen, S.I., and Taylor, G., (2003), Kinetic dynamics in heterogeneous enzymatic hydrolysis of cellulose: An overview, an experimental study and mathematical modelling, *Process Biochemistry*, 38, pp. 1003-1018.
- Johnston, D.B., Shoemaker, S.P., Smith, G.M., and Whitaker, J.R., (1998), Kinetic measurements of cellulase activity on insoluble substrates using disodium 2, 2' bicinchoninate, *Journal of Food Biochemistry*, 22, pp. 301-319.
- Krishna, C., (2005), Solid state fermentation systems-an overview, *Crit.Rev. in Biotechnol.*, 25(1-2), pp.1-30.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., and Randall, R.J., (1951), Protein measurement with the folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, 193, pp. 265-275.
- Miller, G.L., (1959), Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar, *Anal. Chem.*, 31, pp. 426-428.
- Mitchell, D.A., de Lima Luz, L.F., and Krieger, N., (2011), Bioreactors for solidstatefermentation, *In: Comprehensive Biotechnology*, Second ed. Edited by:Moo-Yong, M. Elsevier, Vol.2, pp. 347 – 360.
- Nigam, P.S. and Pandey, A., (2009), Solid-state fermentation technology for bioconversion of biomass

and agricultural residues, *In: Biotechnology for agro-industrial residues utilization*, Edited by: Nigam, P.S. and Pandey, A. Springer Science + Business Media B.V., pp. 197-221.

Pandey, A., Soccol, C.R., and Larroche, C., (2008), *Current Development in Solid- state Fermentation*, Asiatech Pulisher, Inc., New Delhi.

Sudiyani, Y., Sembiring, K.C., Hendarsyah, H., and Alawiyah, S., 2010, Alkalinepretreatment and enzymatic saccharification of oil palm empty fruit bunchfiber for ethanol production, *Menara Perkebunan*, Vol. 78(2), pp. 70-74.

Umi Kalsom, M.S., Arbakariya, A., and Karim, M.I.A., (1998), Saccharification of pretreated oil palm

empty fruit bunch fiber using cellulase of *chaetomium globosum*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 46(8), pp. 3359-3364.

Widiyanti, S.E., (2014), Kinetika konsumsi glukosa oleh *Aspergillus niger* dalam produksi bioethanol dari lignoselulosa, *Tesis*, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.

Yeh, A-I, Yi-Ching, H., and Chen, S.H., (2010), Effect of particle size on the rate of enzymatic hydrolysis of cellulose, *Carbohydrate Polymers*, 79, pp. 192-199.