

## KAJIAN HIDROLISA ENZYMATIS JERAMI PADI UNTUK PRODUKSI BIOETANOL

L. Kurniasari <sup>\*)</sup>, I. Hartati <sup>\*)</sup>, dan M. E. Yulianto <sup>\*\*)</sup>

### Abstrak

Penggunaan bahan bakar fosil, telah menyebabkan kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan gas rumah kaca yang lain di udara. Salah satu usaha memperkecil masalah tersebut adalah dengan penggunaan biofuel etanol sebagai pengganti bahan bakar fosil. Saat ini bioetanol diproduksi dari tetes tebu, singkong maupun dari jagung. Salah satu alternatif bahan baku pembuatan bioetanol adalah biomassa berselulosa. Salah satu biomassa berselulosa dari limbah pertanian di Indonesia yang belum dimanfaatkan adalah limbah tanaman padi (jerami). Biomassa berselulosa terbentuk dari tiga komponen utama yakni selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa merupakan komponen utama yang terkandung dalam dinding sel tumbuhan dan mendominasi hingga 50% berat kering tumbuhan. Jerami padi diketahui memiliki kandungan selulosa yang tinggi, mencapai 34.2% berat kering, 24.5% hemiselulosa dan kandungan lignin hingga 23.4%. Konversi enzimatis biomassa berselulosa menjadi bioethanol melibatkan tiga langkah dasar yakni proses pretreatment, proses hidrolisa dan proses fermentasi. Proses pretreatment bertujuan mempermudah akses enzyme selulase untuk menghidrolisa selulosa menjadi monomer-monomer gula. Proses hidrolisa untuk memproduksi monomer-monomer gula dari selulosa dan hemiselulosa dapat berlangsung melalui proses hidrolisa asam maupun melalui hidrolisa enzimatis. Hidrolisa selulosa secara enzimatis memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi, konversi dan produktifitas. Hidrolisa selulosa secara enzimatis melibatkan beberapa enzyme yang berbeda. Enzyme yang disekresi dari filamentous fungi *Trichordema reseei* dapat mengkonversi biomassa menjadi gula. Hidrolisa selulosa secara enzimatis memiliki beberapa keuntungan, yakni konversi lebih tinggi, menghasilkan produk samping yang minimal, kebutuhan energi lebih rendah dan kondisi operasi yang lebih rendah. Proses enzimatis merupakan proses bersih lingkungan. Dengan menggunakan bahan baku terbarukan (renewable raw material) yang ekonomis dari limbah pertanian untuk proses produksi bioetanol dapat memberikan nilai tambah bagi petani. Saat ini, hidrolisa enzimatis merupakan teknologi yang sangat menjanjikan guna mengkonversi biomassa menjadi gula untuk selanjutnya dikonversi menjadi bioetanol. Hidrolisa selulosa secara enzimatis dipengaruhi beberapa variable yakni rasio enzim-substrat, rasio jerami padi-air, temperatur, pH reaksi dan waktu reaksi. Glukosa hasil hidrolisa jerami padi secara enzimatis selanjutnya difermentasi untuk menghasilkan bioethanol.

**Kata Kunci:** Enzimatis, Hidrolisa, Jerami, Selulosa

### Pendahuluan

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan suatu gas rumah kaca, yang jumlahnya di udara telah meningkat sekitar 30% akibat dari kegiatan manusia sejak awal revolusi industri. Beberapa kegiatan, khususnya penggunaan bahan bakar fosil, telah menyebabkan kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan gas rumah kaca yang lain di udara. Salah satu usaha memperkecil masalah tersebut adalah dengan penggunaan biofuel etanol sebagai pengganti bahan bakar fosil. Bioetanol dapat mengurangi emisi gas karbondioksida, dan proses

fotosintesis pada produksi biomassa akan menyerap gas karbondioksida yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil (DOE, 2006).

Selain menyangkut isu lingkungan hidup, seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan minyak dan ketersediaan minyak yang terbatas, maka untuk memenuhi kebutuhan minyak dalam negeri Indonesia harus mengimpor minyak. Dengan meningkatnya import minyak dan harga minyak dunia, diperkirakan biaya yang harus ditanggung pemerintah Indonesia dalam pengadaan minyak dalam negeri akan semakin

## DI UNTUK

O<sub>2</sub> dan gas  
sebut adalah  
ini bioetanol  
bahan baku  
selulosa dari  
maman padi  
ni selulosa,  
andung dalam  
Jerami padi  
ering, 24.5%  
a berselulosa  
ment, proses  
akses enzyme  
ses hidrolisa  
ulosa dapat  
is. Hidrolisa  
konversi dan  
enzyme yang  
eseei dapat  
tis memiliki  
mping yang  
adah. Proses  
bahan baku  
untuk proses  
isa enzymatis  
menjadi gula  
a enzymatis  
mi padi-air,  
padi secara

biomassa akan  
a yang dihasilkan  
fosil (DOE,2006).  
lingkungan hidup,  
gkatnya kebutuhan  
yak yang terbatas,  
ihan minyak dalam  
engimpor minyak  
minyak dan harga  
biaya yang harus  
Indonesia dalam  
geri akan semakin

meningkat pula. Oleh karena itu perlu dipertimbangkan penggunaan sumber energi lain selain minyak. Bioetanol merupakan salah satu alternatif sumber energi yang dapat mengurangi tekanan akibat tingginya harga minyak dunia.

Produksi etanol nasional pada tahun 2006 mencapai 200 juta liter. Kebutuhan etanol nasional pada tahun 2007 diperkirakan mencapai 900 juta kiloliter (Surendro, 2006). Saat ini bioetanol diproduksi dari tetes tebu, singkong maupun dari jagung. Salah satu alternatif bahan baku pembuatan bioetanol adalah biomassa berselulosa. Biomassa berselulosa merupakan sumber daya alam yang berlimpah dan murah yang memiliki potensi mendukung produksi komersial industri bahan bakar seperti etanol dan butanol. Selain dikonversi menjadi biofuel, biomassa berselulosa juga dapat mendukung produksi komersial industri kimia seperti asam organik, aseton atau gliserol (Wymann, 2002). Biomassa berselulosa diantaranya diperoleh dari limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah kehutanan, limbah padat kertas dan beberapa limbah industri.

Salah satu limbah pertanian di Indonesia yang belum dimanfaatkan adalah limbah tanaman padi (jerami). Jerami adalah tanaman padi yang telah diambil buahnya (gabahnya), sehingga tinggal batang dan daunnya yang merupakan limbah pertanian terbesar serta belum sepenuhnya dimanfaatkan karena adanya faktor teknis dan ekonomis. Pada sebagian petani,

jerami sering digunakan sebagai mulsa pada saat menanam palawija. Hanya sebagian kecil petani menggunakan jerami sebagai pakan ternak alternatif di kala musim kering karena sulitnya mendapatkan hijauan. Di lain pihak jerami sebagai limbah pertanian, sering menjadi permasalahan bagi petani, sehingga sering di bakar untuk mengatasi masalah tersebut. Produksi jerami padi dapat mencapai 12 - 15 ton per hektar per panen, bervariasi tergantung pada lokasi dan jenis varietas tanaman padi yang digunakan. Produksi padi nasional mencapai 54,75 juta ton pertahun pada tahun 2006, meningkat sebesar 1,11% dibandingkan produksi padi tahun 2005. Peningkatan produksi padi juga diiringi peningkatan limbah jerami padi (Berita Resmi Statistik, 2006).

Biomassa berselulosa terbentuk dari tiga komponen utama yakni selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa merupakan komponen utama yang terkandung dalam dinding sel tumbuhan dan mendominasi hingga 50% berat kering tumbuhan. Jerami padi diketahui memiliki kandungan selulosa yang tinggi, mencapai 34.2% berat kering, 24.5% hemiselulosa dan kandungan lignin hingga 23.4%. Komposisi kimia limbah pertanian maupun limbah kayu tergantung pada spesies tanaman, umur tanaman, kondisi lingkungan tempat tumbuh dan langkah pemrosesan. Perbandingan komposisi kimia beberapa biomassa disajikan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1. Komposisi kimia berbagai biomassa**

Biomassa	Selulosa(% b/b)	Hemiselulosa (% b/b)	Lignin (% b/b)
Kayu poplar	49.9	20.4	18.1
<b>Jerami padi</b>	<b>34.2</b>	<b>24.5</b>	<b>23.4</b>
Switchgrass	31.0	24.4	17.6

Sumber Wyman dkk, 1996

Struktur biomassa berselulosa merupakan struktur yang kompleks sehingga biomassa berselulosa merupakan material yang lebih sulit didegradasi dan dikonversi dibandingkan material berbasah dasar dari starch.

Konversi enzymatis biomassa berselulosa menjadi bioethanol melibatkan tiga langkah dasar yakni proses pretreatment, proses hidrolisa dan proses fermentasi. Proses pretreatment bertujuan mempermudah akses enzyme selulase untuk menghidrolisa selulosa menjadi monomer-monomer gula.

Proses hidrolisa untuk memproduksi monomer-monomer gula dari selulosa dan hemiselulosa dapat berlangsung melalui proses hidrolisa asam maupun melalui hidrolisa enzymatis. Hidrolisa asam dibedakan menjadi dua proses yaitu Dilute Acid Hydrolysis dan Concentrated Acid Hydrolysis. Dilute Acid Hydrolysis (DAH) merupakan tehnologi tertua yang digunakan untuk menghidrolisa selulosa. Proses DAH melibatkan larutan asam sulfat 1% dalam reaktor kontinyu yang beroperasi pada suhu tinggi, 250°C. Konversi dari proses tersebut hanya 50 %. Concentrated Acid Hydrolysis

menggunakan asam sulfat konsentrat dan dilanjutkan dengan pelarutan dalam air untuk melarutkan dan menghidrolisa selulosa menjadi gula.

Hidrolisa selulosa secara enzimatis memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi, konversi dan produktifitas. Hidrolisa selulosa secara enzimatis melibatkan beberapa enzyme yang berbeda. Enzyme yang disekresi dari filamentous fungi *Trichoderma reesei* dapat mengkonversi biomassa menjadi gula (Hayn, 1993). Penelitian mengenai hidrolisa biomassa secara enzimatis telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya hidrolisa berbahan baku limbah kayu softwood (Wingren, 2003), jerami gandum (Schmidt, 1998) dan pinus. Yield yang diperoleh dari hidrolisa biomassa terutama dipengaruhi oleh jenis bahan baku (Palonen, 2004).

Hidrolisa selulosa secara enzimatis memiliki beberapa keuntungan, yakni konversi lebih tinggi, menghasilkan produk samping yang minimal, kebutuhan energi lebih rendah dan kondisi operasi yang lebih rendah. Proses enzimatis merupakan proses bersih lingkungan. Dengan menggunakan bahan baku terbarukan (renewable raw material) yang ekonomis dari limbah pertanian untuk proses produksi bioetanol dapat memberikan nilai tambah bagi petani. Saat ini, hidrolisa enzimatis merupakan teknologi yang sangat menjanjikan guna mengkonversi biomassa menjadi gula untuk selanjutnya dikonversi menjadi bioetanol.

Hidrolisa sellulosa secara enzimatis dipengaruhi beberapa variable yakni rasio enzim-substrat, rasio jerami padi-air, temperatur, pH reaksi dan waktu reaksi. Dengan menggunakan metode factorial design, variabel yang paling berpengaruh terhadap proses hidrolisa dapat diketahui, sehingga setelah variabel berpengaruh diketahui. Optimasi terhadap variabel proses dapat dilakukan untuk mendapatkan kondisi optimum proses hidrolisa jerami padi. Glukosa hasil hidrolisa jerami padi secara enzimatis selanjutnya difermentasi untuk menghasilkan bioethanol.

## Bioetanol

### Sejarah bioetanol

Penggunaan ethanol untuk bahan bakar kendaraan sebenarnya sudah dimulai sejak tahun 1880, pada tahun tersebut Henry Ford telah merancang sebuah mobil dengan bahan bakar hanya ethanol (tanpa dicampur). Pada tahun 1970-an ketika terjadi krisis minyak, Brazil mengkampanyekan untuk tidak mengimpor minyak yang mahal. Pemerintah Brazil membantu dengan mensubsidi rancang bangun dan manufaktur mobil berbahan bakar hanya alkohol. Mereka juga mendukung sebuah industri besar untuk mengolah tebu (tetes tebu) menjadi alkohol yang kemudian membangun jaringan distribusi alkohol untuk bahan bakar kendaraan ke seluruh Brazil (Theil, S, 2004). Saat ini Brazil sekarang menjadi produsen ethanol terbesar di dunia, diikuti oleh China (Gambar 1).

### Perkiraan Kebutuhan Bio-ethanol.

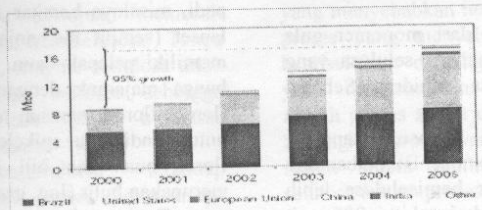
Kenaikan harga minyak mentah, selain akan meningkatkan keekonomian Bio-diesel juga akan meningkatkan keekonomian ethanol sebagai sumber bahan bakar alternatif untuk sektor transportasi. Jumlah kebutuhan ethanol pada tahun-tahun 2013, 2014, 2015, dan 2025 tersebut setara secara berturut-turut dengan 0,48 juta KL (kiloliter), 0,74 juta KL, 2,83 juta KL, dan 29,1 juta KL ethanol. Meningkatnya keekonomian ethanol pada tingkat harga minyak yang lebih tinggi tersebut, disebabkan oleh semakin kecilnya selisih antara biaya produksi ethanol dengan biaya produksi bahan bakar minyak. Sementara itu potensi Bio-ethanol sebagai bahan bakar pengganti premium ditunjukkan dengan kenaikan pangsa kebutuhan Bio-ethanol terhadap kebutuhan premium pada sektor transportasi dalam waktu sekitar 20 tahun mendatang. Pada harga minyak mentah \$60/barrel tersebut, ethanol diperkirakan mempunyai potensi yang sangat besar dalam menggantikan premium untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada sektor transportasi.



untuk bahan bakar dimulai sejak tahun 1908. Henry Ford telah memproduksi mobil dengan bahan bakar dari jagung (dicampur). Pada krisis minyak, Brazil tidak mengimpor minyak. Pemerintah Brazil telah merencanakan pembangunan jaringan transportasi bahan bakar hanya untuk mendukung sebuah industri (tetes tebu) menjadi bahan bakar. Saat ini Brazil memproduksi etanol terbesar di dunia (Gambar 1).

#### Etanol.

Etanol mentah, selain digunakan untuk pembuatan Biodiesel juga digunakan sebagai bahan baku untuk sektor transportasi. Etanol pada tahun 2005, dan 2025 tersebut diperkirakan akan mencapai 0,48 juta KL, 0,8 juta KL, dan 29,18 juta KL. Hal ini menunjukkan bahwa etanol semakin kecilnya produksinya. Sementara itu, etanol sebagai bahan bakar akan semakin meningkat dengan kenaikan produksi etanol terhadap sektor transportasi. Pada tahun 2005, etanol tersebut, etanol memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan sebagai bahan bakar pada sektor



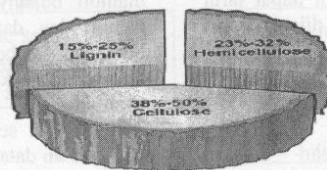
Gambar 1. Produksi Bioetanol dunia (Sumber IEA, 2006)

#### Biomassa Berselulosa

Biomassa berselulosa merupakan sumber daya alam terbarukan yang melimpah. Biomassa berselulosa mempunyai potensi mendukung produksi biofuel dan bahan-bahan kimia seperti asam organik dan alkohol. Biomassa berselulosa

dapat diperoleh dari limbah pertanian, perkebunan maupun limbah kehutanan.

Biomassa berselulosa mengandung tiga komponen utama meliputi selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komposisi biomassa disajikan pada Gambar 2.



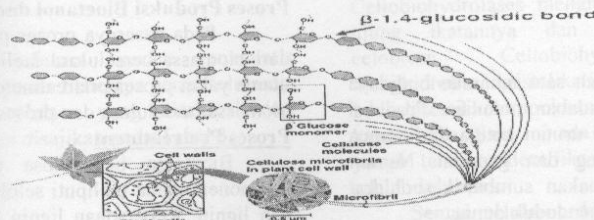
Gambar 2. Komposisi biomassa (Sumber DOE, 2006)

#### Selulosa

Selulosa seringkali diasosiasikan dengan hemiselulosa dan lignin. Isolasi selulosa memerlukan perlakuan kimiawi yang intensif dan spesifik. Selulosa terdiri dari unit-unit monomer D-glucopyranose yang terikat oleh ikatan B-1-4 glukosidik. Derajat polimerisasi (DP) rata-rata selulosa pada tumbuh-tumbuhan bervariasi antara 7000-15000 unit glukosa, tergantung pada sumber biomasanya (Fengel and Wegener, 1983).

Gugus fungsional pada rantai selulosa adalah gugus hidroksil. Gugus-gugus-OH tersebut dapat berinteraksi satu sama lain atau berinteraksi dengan gugus O-, N- dan gugus S-, membentuk ikatan hydrogen. Ikatan hydrogen

juga terjadi antara gugus OH pada selulosa dengan molekul-molekul air. Gugus-gugus hidroksil tersebut mengakibatkan permukaan selulosa bersifat hydrophilic. Rantai selulosa memiliki gugus OH pada kedua ujung rantai. Gugus Cl yang berada pada ujung rantai memiliki sifat sebagai reduktor. Rantai selulosa distabilkan oleh ikatan hydrogen yang terdapat disepanjang rantai selulosa. Di alam, selulosa dapat ditemukan pada tumbuh-tumbuhan. Rantai-rantai selulosa bergabung bersama membentuk jaringan mikrofibril yang kuat. Masing-masing rantai selulosa disatukan oleh ikatan hydrogen. Satu individu rantai kristal selulosa terdiri dari sepuluh rantai glukosa yang berorientasi paralel. Struktur kimia selulosa disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Kimia Selulosa

### Hemiselulose

Hemiselulose terdiri dari monomer gula yang berbeda-beda tidak seperti selulosa yang hanya terdiri dari glukosa anhidrat. Sebagai contoh monomer gula yang ada pada hemiselulosa antara lain xylose, mannose, galactose, rhamose dan arabinose. Bila dibanding selulose, rantai monomer hemiselulose lebih pendek dan bercabang yakni sekitar 200 unit monomer gula. Hemiselulose biasanya diklasifikasikan menurut residu gula utama dalam *backbone* sumber hemiselulosa misalnya xylans, mannans, galactans dan glucan dengan xylans dan mannans sebagai grup utama dari hemiselulosa. Hemiselulosa seringkali ditemukan terikat dengan polisakarida yang lain seperti protein atau lignin. Xylans merupakan interface utama antara lignin dan karbohidrat yang lain (Jeffries, 1990). Hemiselulosa lebih dapat larut bila dibanding selulosa dan dapat diisolasi dari sumbernya melalui proses ekstraksi.

### Lignin

Lignin merupakan suatu komponen polimer aromatik kompleks dan bersifat hidrofobik. Secara alami, lignin dapat ditemukan sebagai bagian dari dinding sel tumbuhan. Lignin berada dalam kompleks matik polimer karbohidrat, selulosa dan hemiselulosa. Penelitian terakhir mengenai lignin mengindikasikan bahwa semua struktur lignin tidak homogen. Lignin terdiri dari daerah-daerah yang amorphous dan bentuk struktur yang berbentuk seperti oblong dan globula (Novikova, 2000). Lignin yang terdapat dalam dinding sel tanaman dengan tingkat yang lebih tinggi bersifat tidak amorph.

Struktur kimia dari lignin alami dapat berubah pada temperatur tinggi dan dalam kondisi asam seperti halnya dalam pretreatment menggunakan uap. Pada temperatur lebih dari 200°C, lignin akan teraglomerasi menjadi partikel yang lebih kecil dan akan terpisah dari selulosa.

### Jerami Padi

Padi adalah salah satu tanaman budidaya terpenting dalam peradaban manusia. Produksi padi dunia menempati urutan ketiga dari semua sereal setelah jagung dan gandum. Namun demikian, padi merupakan sumber karbohidrat utama bagi mayoritas penduduk dunia.

Padi termasuk dalam suku padi-padian. Sejumlah ciri suku (familia) ini juga menjadi ciri

padi, misalnya berakar serabut, daun berbentuk lanset (sempit memanjang), urat daun sejajar, memiliki pelepah daun, bunga tersusun sebagai bunga majemuk dengan satuan bunga beruang satu floret, floret tersusun dalam spikelet, khusus untuk padi satu spikelet hanya memiliki satu floret, buah dan biji sulit dibedakan karena merupakan bulir (Ing. *grain*) atau kariopsis.

Terdapat dua spesies padi yang merupakan tanaman budidaya yakni *Oryza sativa* dan *O. glaberrima*. Selain kedua varietas ini, dikenal pula sekelompok padi yang tergolong *javanica* yang memiliki sifat antara dari kedua varietas utama di atas. Varietas *javanica* hanya ditemukan di Pulau Jawa.

### Jerami

Jerami adalah tanaman padi yang telah diambil buahnya (gabahnya), sehingga tinggal batang dan daunnya yang merupakan limbah pertanian terbesar serta belum sepenuhnya dimanfaatkan karena adanya faktor teknis dan ekonomis.

Jerami selama ini hanya dikenal sebagai hasil ikutan dalam proses produksi padi di sawah. Pada sebagian petani, jerami sering digunakan sebagai mulsa pada saat menanam palawija. Hanya sebagian kecil petani menggunakan jerami sebagai pakan ternak alternatif di kala musim kering karena sulitnya mendapatkan hijauan. Di lain pihak jerami sebagai limbah pertanian, sering menjadi permasalahan bagi petani, sehingga jerami sering di bakar untuk mengatasi masalah tersebut.

Produksi jerami padi dapat mencapai 12 ton per hektar per panen, bervariasi tergantung oleh lokasi dan jenis varietas tanaman padi yang digunakan. Jerami padi yang dihasilkan biasanya hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Komposisi kimia jerami padi meliputi bahan kering 71,2%, protein kasar 3,9%, lemak kasar 1,8%, serat kasar 28,8%, BETN 37,1%, dan TDN 40,2%.

### Proses Produksi Bioetanol dari Biomassa

Pada dasarnya proses produksi bioetanol dari biomassa berselulosa melibatkan tiga tahap utama yakni proses pretreatment, proses hidrolisa biomassa berselulosa dan proses fermentasi.

#### Proses Pretreatment

Biomassa berselulosa terdiri dari tiga komponen utama meliputi selulosa, hemiselulosa dan lignin. Keberadaan lignin dan hemiselulosa akan mengurangi laju hidrolisa karena terjadi adsorpsi selulosa terhadap lignin (Polanen

"lign  
lignin  
cellu  
(gluc  
hemi  
(xylo

Hidrolisa

Seca  
mikroorgan  
terlibat di  
sempurna.  
menghamb  
sering maupun s  
selulosa m  
laju hidro  
disebabkan  
oleh bagi  
enzim dari  
selulosa (C  
Tri  
filamente  
material  
alaminya.  
reesei d  
selulosa  
sederhan  
Cellulase  
Hi  
memerlu  
Beberapa  
Trichord

erabut, daun berbentuk  
(g), urat daun sejajar,  
bunga tersusun sebagai  
satu bunga berupa  
dalam spikelet, khusus  
hanya memiliki satu  
dit dibedakan karena  
n) atau kariopsis.

s padi yang merupakan  
*Oryza sativa* dan *O.*  
varietas ini, dikenal  
g tergolong *javanica*  
a dari kedua varietas  
*mica* hanya ditemukan

man padi yang telah  
(a), sehingga tinggal  
merupakan limbah  
belum sepenuhnya  
faktor teknis dan

nya dikenal sebagai  
produksi padi di sawah.  
ni sering digunakan  
menanam palawija.  
menggunakan jerami  
atif di kala musim  
apatkan hijauan. Di  
bah pertanian, sering  
petani, sehingga  
isi masalah tersebut.  
apat mencapai 12 -  
ervariasi tergantung  
tanaman padi yang  
dihasilkan biasanya  
ai pakan ternak  
kimia jerami padi  
protein kasar 3,9%,  
sar 28,8%, BETN

#### ri Biomassa

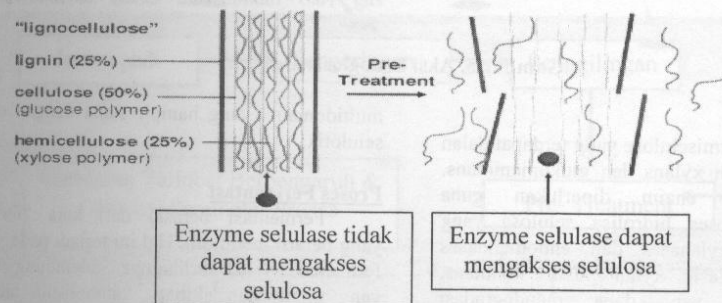
produksi bioetanol  
ibatkan tiga tahap  
nt, proses hidrolisa  
s fermentasi

terdiri dari tiga  
losa, hemiselulosa  
dan hemiselulosa  
sa karena terjadi  
lignin (Polanen,

2004). Proses treatment bertujuan memecah  
ikatan antara lignin dan hemiselulosa. Tanpa  
melalui proses treatment, enzyme selulose tidak  
dapat mengakses kedalam selulosa sehingga  
proses hidrolisa selulosa pada biomassa  
berselulosa terhambat (Gambar 4).

Berdasarkan pengaruhnya terhadap  
hemiselulosa dan lignin, proses pretreatment  
dibedakan menjadi dua yakni proses treatment

yang menyebabkan hemiselulosa terhidrolisa dan  
proses yang menyebabkan pemecahan ikatan  
hemiselulosa dan lignin dari selulosa. Proses  
yang menyebabkan hemiselulosa terhidrolisa  
adalah proses steam explosion dan proses asam.  
Sedangkan proses yang menyebabkan pecahnya  
ikatan antara lignin dan hemiselulosa dari  
selulosa adalah proses basa dan proses ammonia.



Gambar 4. Proses treatment

#### Hidrolisa Enzimatis Selulosa

Secara alami, beberapa macam  
mikroorganisme dan mekanisme enzimatis  
terlibat dalam degradasi lignoselulosa yang  
sempurna. Struktur dari lignoselulosa  
menghambat degradasi baik secara enzimatis  
maupun secara kimia. Bahkan dalam hidrolisa  
selulosa murni secara enzimatis terjadi penurunan  
laju hidrolisa. Penurunan laju hidrolisa tersebut  
disebabkan karena inhibisi produk akhir, deplesi  
oleh bagian yang dapat terdegradasi, inaktivasi  
enzim dan tergebanya celulases dalam pori-pori  
selulosa (Valjamae, 2002).

*Trichordema reesei* merupakan suatu  
filamenteus fungi yang dapat mendegradasi  
material dari tumbuhan dalam lingkungan  
alaminya. Enzim hidrolitik dari *Trichordema*  
*reesei* dapat dengan efisien mendegradasi  
selulosa dan hemiselulosa menjadi gula  
sederhana.

#### Cellulases

Hidrolisa selulosa secara enzimatis  
memerlukan campuran beberapa jenis selulases.  
Beberapa jenis selulase yang disekresi dari  
*Trichordema reesei* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Cellulases pada *Trichordema reesei*

Enzyme	Masa molekular	Konsentrasi
CBH I	59-68	50-60
CBH II	50-58	15-18
EG I	50-55	12-15
EG II	48	9-11
EG III	25	0-3
EG V	23	0-3
BGL I	71	Na
BGL II	114	Na

CBH : Cellobiohydrolase  
EG : Endoglukanase  
BGL : B glukosidase

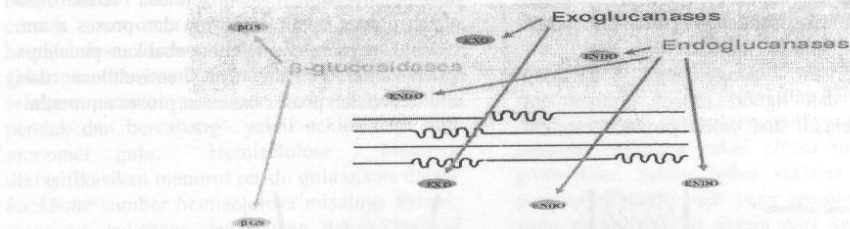
Secara tradisional, selulases dikategorikan  
menjadi dua tipe yakni endoglukanases dan  
cellobiohydrolases. Endoglukanases akan  
menghidrolisa ikatan internal dari rantai selulosa  
dan beraksi pada bagian selulosa yang amorp.  
Cellobiohydrolases menghidrolisa selulosa dari  
ujung ikatannya dan akan menghasilkan  
celobiose. Cellobiohydrolases mampu  
menghidrolisa kristal-kristal selulose. Glikosil  
hydrolases dikelompokkan sesuai dengan domain  
katalitiknya. Saat ini ada 92 glikosil hidrolases  
yang telah teridentifikasi dan 14 diantaranya  
adalah selulases.

Semua selulases dari *Trichordema reesei*  
kecuali EG III seperti halnya mikroorganisme  
yang lain memiliki dua struktur domain yaitu



catalytic domain (CD) dan celulose binding domain (CBD) yang terikat bersama oleh suatu penghubung yang fleksibel (Gilkes, 1991).

Endoglucanases memiliki sisi aktif yang terbuka yang memungkinkannya beraksi ditengah rantai glukosa (Gambar 5).



Gambar 5. Aksi Endoglucanases

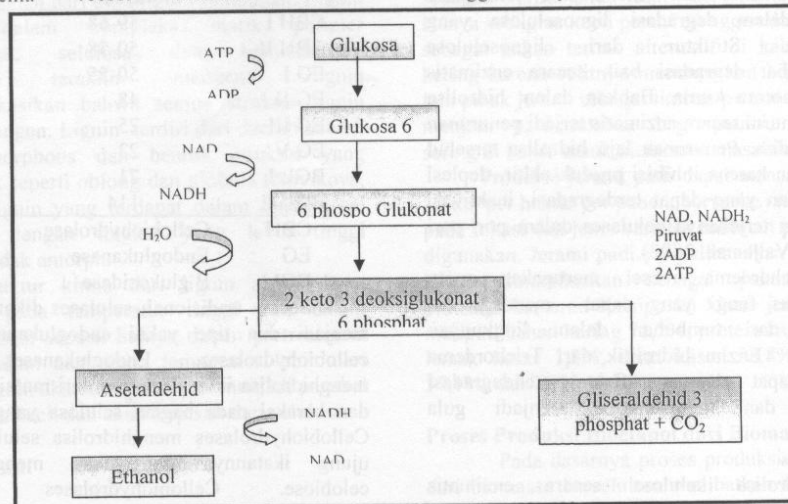
### Hemicellulases

Dua jenis hemicelulose yang terdapat dalam jerami padi adalah xylans dan glukomannans. Beberapa serial enzim diperlukan guna menghasilkan proses hidrolisa selulosa yang sempurna. Endoxylanases dan endomannanases akan mendegradasi xylan dan mannans. Beberapa enzim yang dapat mendegradasi hemicelulose telah diidentifikasi dalam *Trichoderma reesei*, diantaranya xylanases dan mannanase. Mannanase yang terdapat dalam *Trichoderma reesei* memiliki struktur

multidomain yang hampir sama dengan enzim selulolitik.

### Proses Fermentasi

Fermentasi berasal dari kata "fervere" yang berarti mendidih. Hal ini terjadi pada gejala fermentasi yaitu terlihatnya gelembung udara yang merupakan akibat katabolisme anaerob yang menghasilkan  $\text{CO}_2$ . Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi ethanol/bio-ethanol (alkohol) dengan menggunakan yeast.



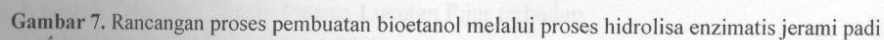
Gambar 6. Skema Pembentukan Alkohol Melalui Jalur KDPG

Yeast yang digunakan dari jenis *Eumycetes* spesies *Saccharomyces cerevisiae*. Yeast ini tumbuh sempurna pada suhu  $\pm 30^\circ\text{C}$  dan pH 4,8. Syarat-syarat ragi yang dapat digunakan dalam proses fermentasi alkohol

adalah cepat berkembang biak, tahan terhadap alkohol kadar tinggi, tahan terhadap suhu tinggi dan cepat beradaptasi terhadap media fermentasi.

Fermentasi alkohol dapat menggunakan bakteri jalur peruraian glukosa melalui jalur

Rancangan proses pembuatan bioetanol melalui proses hidrolisa enzimatis jerami padi disajikan pada gambar 7.



Antongiovanni, M., 1983, "Variability in Chemical Composition of Straw" CIHEAM, Options Mediterraneennes

Berita Resmi Statistik, 2006, "Produksi Jagung, Padi dan Kedelai", Berita Resmi Statistik Volume 35/IX

Bjerre AB, Olesen AB, 1996, Pretreatment of Wheat Straw Using Combined Wet Oxidation and Alkaline Hydrolysis



- Resulting in Convertible Cellulose and Hemicellulose, *Biotechnol Bioeng* 49
- Bin yang, Wyman. E, 2005, " BSA Treatment to Enhance Enzymatic Hydrolysis of Cellulose in Lignin Containing Substrat" *Biotechnology and Bioengineering Journal* Vol 94 No 4 jully Willey Interscience
- DOE, 2006," A Reswearch Roadmap to Resulting from Biomass To Biofuels Workshop" Office of Science, Marryland
- Erickson K, 1990" Microbial and Enzymatic Degradation of Wood" Springer Berlin
- Glasneer David, 1999, " Corn Stover Potential" ASHS Press, Alexandria, VA
- Grohman K, Torget R, 1985, "Optimization of Dilute Acid Pretreatment of Biomass", *Biotechnol.Bioeng.*15
- Hayn,M., Steiner W.,1993 ," Basic Research and Pilot Studies on the Enzymatic Conversion of Lignocellulosic", *Bioconversion of Forest and Agricultural Plant Residues*, Wallington, UK.
- IEA Energy Technology Essential, 2007," Biofuel Production", [www.iea.org](http://www.iea.org)
- Johanessen R, 1991, "Energy Efficiency and Environmental News Alcohol Production from Biomass" , Florida Energy Extension news
- Kelly,C., 2007," Enzymes in Hydrolysis and Pretreatment" OSU College of Engineering
- Ladish, M.R, Zeng M, 2005," Microscopic Examination of Changes of Plant Cell Structure in Lignocellulosic Material Due to Hot Water Treatment and Enzymatic Hydrolysis"
- Lynd L.R., 1996, "Overview and Evaluation of fuel Ethanol from Cellulosic biomass" *Annu Rev energy Environment*
- Media Pertanian; 2003, " Pengembangan Pat Hibrida Terbuka Lebar", Situs Hija Media Pertanian Online.
- Okunowo, Oluwanisula, 2007," Quantitation of Alcohol in Wine" *African Journal of Biochemistry*.
- Palonen,H.,Tjerneld,F.,2004, Adsorbtion of purified Trichordema reseeci cellulase and their catalytic domain to steam pretreatment softwood and isolated lignin, *J Biotechnology* 107
- Prasetyaningsih, E., 2007, "Industri Alkohol" E Kuliah. Knowledge Collaborative Sharing
- Ramakrisna, 2007," Technological Challenges in Bioethanol Production" *Praj Industries Limited*
- Schmidt AS,1998, "Optimization of We Oxidation Pretreatment of Wheat Straw" *Biores.Technol.*
- Suarna, E., Prospek dan Tantangan Pemanfaatan Biofuel Sebagai Sumber Energi Alternatif Pengganti Minyak di Indonesia".
- Surendro,H., 2006,"Biofuel", DJLPE ,Jakarta
- Wingren A, Galbe M., 2003 " Techno Evaluation of Producing Etanol From Softwood" *Biotechnol Journal*.
- Wyman CE,2002, "Potential Synergies and Challenges in Refining Cellulosic Biomass to Fuels" *Biotechnol Progress*.
- Zanin,G.M., 2005, "Determination of Inhibition in the Enzymatic Hydrolysis of Cellobiose Using Hybrid Neural Modelling" *Brazilian Journal of Chemical Engineering* Vol 22