

KAJIAN HIDROLISA ENZYMATIS JERAMI PADI UNTUK PRODUKSI BIOETANOL

L. Kurniasari ^{*)}, I. Hartati ^{*)}, dan M. E. Yulianto ^{**)†}

Abstrak

Penggunaan bahan bakar fosil, telah menyebabkan kenaikan konsentrasi CO_2 dan gas rumah kaca yang lain di udara. Salah satu usaha memperkecil masalah tersebut adalah dengan penggunaan biofuel etanol sebagai penganti 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 enzymatis 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 sellulosa secara enzymatis dipengaruhi beberapa variable yakni rasio substrat, rasio jerami padi-air, temperatur, pH reaksi dan waktu reaksi. Glukosa hasil hidrolisa jerami padi secara enzymatis selanjutnya difermentasi untuk menghasilkan bioethanol.

Kata Kunci: Enzimatis, Hidrolisa, Jerami, Selulosa

Pendahuluan

Karbon dioksida (CO_2) 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_2 dan gas rumah kaca yang lain di udara. Salah satu usaha memperkecil masalah tersebut adalah dengan penggunaan biofuel etanol sebagai penganti 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

CO_2 dan gas sebut adalah ini bioetanol bahan baku selulosa dari makan padi kni selulosa, udung dalam Jerami padi ering, 24.5% berselulosa ment, proses akses enzyme ses hidrolisa ulosa dapat is. Hidrolisa conversi dan enzyne yang reseei dapat tis memiliki imping yang idah. Proses bahan baku untuk proses sa enzymatis menjadi gula a enzymatis mi padi-air, padi secara

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 dibakar 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
Jerami padi	34.2	24.5	23.4
Switchgrass	31.0	24.4	17.6

Sumber Wyman dkk, 1996

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

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

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 asam dibedakan menjadi dua proses yaitu Dilute Acid Hydrolysis dan Concentrated Acid Hydrolysis. Dilute Acid Hydrolysis (DAH) merupakan teknologi 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 mlarutkan dan menghidrolisa selulosa menjadi gula.

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

Hidrolisa selulosa secara enzymatis memiliki beberapa keuntungan, yakni konversi lebih tinggi, menghasilkan produk samping yang minimal, kebutuhan energi lebih rendah dan kondisi operasi yang lebih rendah. Proses enzymatis 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 enzymatis merupakan teknologi yang sangat menjanjikan guna mengkonversi biomassa menjadi gula untuk selanjutnya dikonversi menjadi bioetanol.

Hidrolisa sellulosa secara enzymatis dipengaruhi beberapa variable yakni rasio enzym-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 enzymatis selanjutnya difermentasi untuk menghasilkan bioethanol.

Bioetanol

Sejarah bioetanol

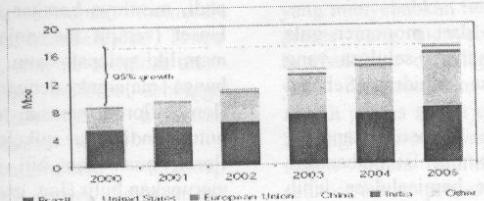
Penggunaan ethanol untuk bahan bakar kendaraan sebenarnya sudah dimulai sejak tahun 1880, pada tahun tersebut Henry Ford telah merancang sebuah mobil dengan bahan bakar hanya ethanol (tanpa dicampur). Pada tahun 1970-an ketika terjadi krisis minyak, Brazil mengkampanyekan untuk tidak mengimpor minyak yang mahal. Pemerintah Brazil membantu dengan mensubsidi rancangan 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 meningkatkan keekonomian Bio-diesel juga 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 29,11 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 Henry Ford telah mobil dengan bahan dicampur). Pada krisis minyak, Brazil tidak mengimport Pemerintah Brazil rancang bangun bahan bakar hanya kung sebuah industri (tetes tebu) menjadi pembangun jaringan bakar kendaraan (004). Saat ini Brazil ethanol terbesar di ambar 1).

ethanol. yak mentah, selain mian Bio-diesel juga n ethanol sebagai natif untuk sektor uhan ethanol pada 5, dan 2025 tersebut engan 0,48 juta KL 3 juta KL, dan 29,18 catnya keekonomian minyak yang lebih leh semakin kecilnya ksi ethanol dengan minyak. Sementara bagai bahan bakar kan dengan kenaikan -ethanol terhadap sektor transportasi un mendatang. Pada rrel tersebut, ethanol otensi yang sangat n premium untuk n bakar pada sektor



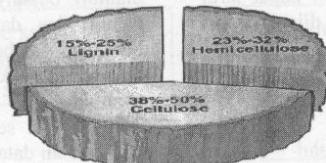
Gambar 1. Produksi Bioetanol dunia (Sumber IEA,2006)

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.



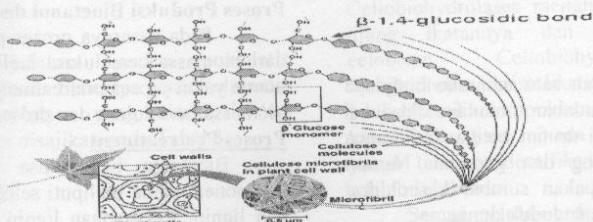
Gambar 2. Komposisi biomassa (Sumber DOE,2006)

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 tumbuhan-tumbuhan bervariasi antara 7000-15000 unit glukosa, tergantung pada sumber biomassanya (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 tumbuhan-tumbuhan. Rantai-rantai selulosa bergabung bersama membentuk jaringan mikrofibril yang kuat. Masing-masing rantai selulosa disatukan oleh ikatan hidrogen. Satu individu rantai kristal selulosa terdiri dari sepuluh rantai glucan 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 selulosa, 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. Zylans 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

Padi adalah salah satu tanaman budidaya terpenting dalam peradaban manusia. Produksi padi dunia menempati urutan ketiga dari semua serealia 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 antara memilki pelepasan daun, bunga tersusun sebagaimana dalam proses bunga majemuk dengan satuan bunga berlapap mengelok, floret tersusun dalam spikelet, khususnya hidap untuk padi satu spikelet hanya memiliki selulosa te floret, buah dan biji sulit dibedakan karena merupakan bulir (Ing. grain) atau karioptis.

Terdapat dua spesies padi yang merupakan bedakan 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 tinggi 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/mikroorganisme. Hanya sebagian kecil petani menggunakan jerami terlibat dalam sebagai pakan ternak alternatif di kala musim sepi. Kering karena sulitnya mendapatkan hijauan. Menghambat lain pihak jerami sebagai limbah pertanian, sering maupun menjadi permasalahan bagi petani, sehingga selulosa yang sering di bakar untuk mengatasi masalah tersebut laju hidro-

Produksi jerami padi dapat mencapai 12-15 ton per hektar per panen, bervariasi tergantung pada lokasi dan jenis varietas tanaman padi yang digunakan. Jerami padi yang dihasilkan biasanya selulosa hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Tri dimusim kemarau Komposisi kimia jerami pada filamente meliputi bahan kering 71,2%, protein kasar 3,9%, lemak kasar 1,8%, serat kasar 28,8%, BET 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 hidrolisis 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

erabut, daun berbentuk lingkaran), urat daun sejajar dengan bunga tersusun sebagai satu-satu bunga berupa alam spikelet, khususnya hanya memiliki satu-satunya alam dibedakan karena n) atau karioptis.

padi yang merupakan *Oryza sativa* dan *O. nivara* varietas ini, dikenal tergolong *javanica* dari kedua varietas *nivara* hanya ditemukan

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

nya dikenal sebagai produksi padi di sawah. Sering digunakan menanam palawija menggunakan jerami matif di kala musim apatkan hijauan. Di sawah pertanian, sering i petani, sehingga isi masalah tersebut. dapat mencapai 12 - 18 variasi tergantung tanaman padi yang dihasilkan biasanya ai pakan ternak kimia jerami padi protein kasar 3,9%, sar 28,8%, BETN

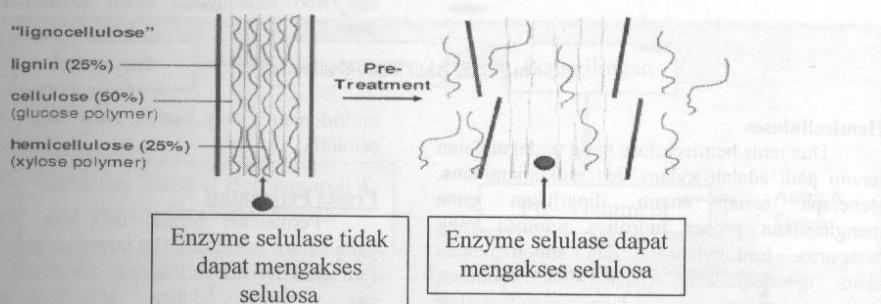
Biomassa
produksi bioetanol ibatkan tiga tahap nt, proses hidrolisa s fermentasi

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 selulosa 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 Enzimatik Selulosa

Secara alami, beberapa macam mikroorganisme dan mekanisme enzimatik 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 terjebanya celulases dalam pori-pori selulosa (Valjamae, 2002).

Trichordema reesei merupakan suatu filamentous 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

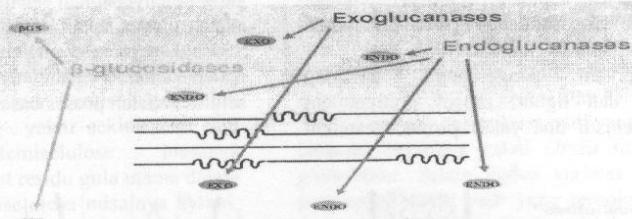
BGL : B glukosidase

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 amorf. Cellobiohydrolases menghidrolisa selulosa dari ujung ikatannya dan akan menghasilkan cellobiose. Cellobiohydrolases mampu menghidrolisa kristal-kristal selulose. Glikosil hidrolases 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

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

Endoglucanases memiliki sisi aktif yang terbulu yang memungkinkannya beraksi ditengah rantai glucan (Gambar 5).



Gambar 5. Aksi Endoglucanases

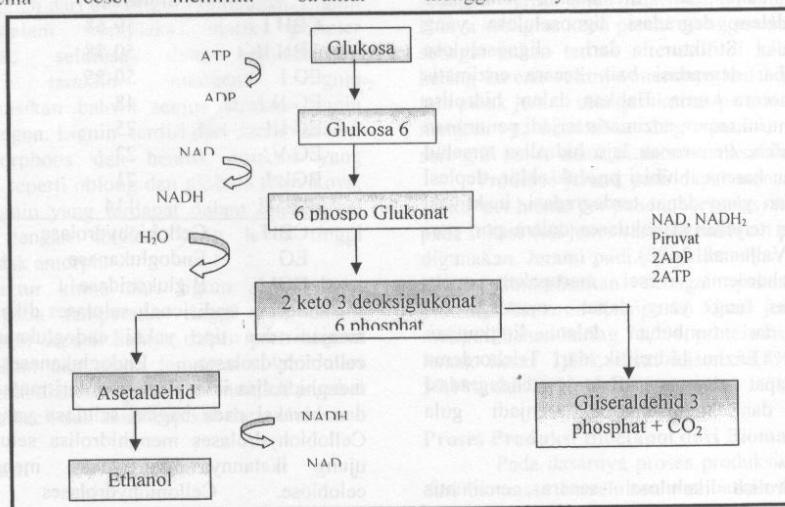
Hemicellulases

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

multidomain yang hampir sama dengan enzim selulotik.

Proses Fermentasi

Fermentasi berasal dari kata "fervore" yang berarti mendidih. Hal ini terjadi pada gejala fermentasi yaitu terlihatnya gelembung udara yang merupakan akibat katabolisme anaerob yang menghasilkan CO_2 . Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi ethanol/bio-ethanol (alkohol) dengan menggunakan yeast.



Gambar 6. Skema Pembentukan Alkohol Melalui Jalur KDGP

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

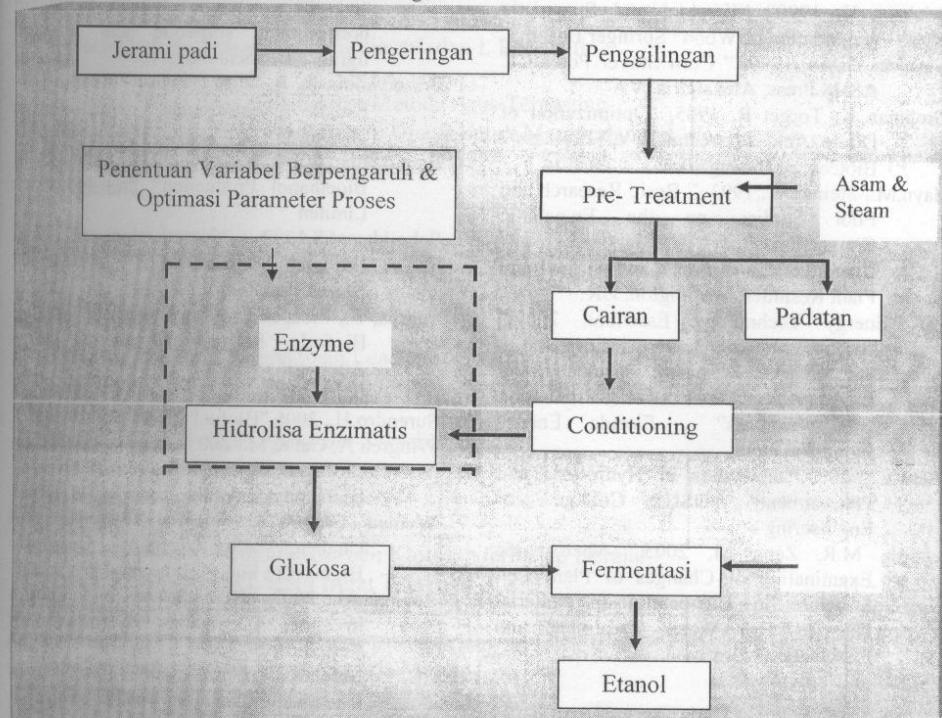
sisi aktif yang terbuka beraksi ditengah rantai

KDGP, namun dapat pula melalui jalur HDP seperti halnya fermentasi alkohol oleh *Sarcins ventroli*. Skema pembentukan alkohol melalui jalur KDGP disajikan pada Gambar 6.

Alkohol yang dihasilkan dari proses fermentasi biasanya masih mengandung gas CO₂ dan aldehyde yang perlu dibersihkan. Gas CO₂ hasil fermentasi tersebut biasanya mencapai 35 persen volume, sehingga untuk memperoleh ethanol yang berkualitas baik, ethanol/bio-ethanol tersebut harus dibersihkan dari gas

sama dengan enzim

dari kata "fervore" ini terjadi pada gejala gelembung udara atabolisme anaerob. Proses fermentasi ah glukosa menjadi (cohol) dengan



Gambar 7. Rancangan proses pembuatan bioetanol melalui proses hidrolisa enzimatis jerami padi

\Kesimpulan

Jerami padi merupakan salah satu biomassa berselulosa yang berpotensi menjadi bahan baku dalam pembuatan etanol. Proses pembuatan bioetanol dari bahan berselulosa melewati tapan yakni pretreatment, hidrolisa dan fermentasi atau sacharifikasi. Proses hidrolisa biomassa berselulosa dapat dilakukan secara enzimatis dengan melibatkan enzim selulase.

Daftar Pustaka

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

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 july 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
- Johannessen 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 Padi Hibrida Terbuka Lebar", Situs Hijau Media Pertanian Online.
- Okunowo, Oluwanisula, 2007," Quantitation of Alcohol in Wine"African Journal of Biochemistry.
- Palonen,H.,Tjerneld,F.,2004, Adsorbtion of purified Trichordema reseei 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 Wet 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 Celloolose Using Hybrid Neural Modelling" Brazilian Journal of Chemical Engineering Vol 22