



## PRODUKSI GULA DARI JAGUNG DENGAN PROSES ENZIMATIK SECARA FERMENTASI KULTUR PADAT

Said Zul Amraini

Laboratorium Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. H.R. Subrantas Km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293  
e-mail: saidzache@yahoo.com dan saidza@unri.ac.id

### Abstract

Corn is an on important food as the third number of world production after rice and wheat. In Indonesia corn takes the second place after rice. Corn also can sugar. The using corn to produce sugar based on high content of carbohydrate, starch and sugar. The can used as fermentation substrate on sugar production. Amylase can be produced by most of microorganisms such bacteria, fungi and yeast. The objective of this research was to investigate sugar production by the growth of fungi cells *Aspergillus niger* in solid fermentation, that used corn as medium. The optimizing was done by surface response method. The experiment was done by bulk technique in a fermentor, by semi-solid cultivation technique. Fungi cells were spread evenly on medium surface in the tray. The temperature was maintained at 37 °C. The variation were aeration rate, particle size, inoculum volume and fermentation duration. The results show that the obtained enzyme activity and glucose content on corn starch substrate 40 mesh was higher than of 60 mesh. The obtained glucose content and enzyme activity from both of them were 9.97 % and 6.96 %, 9.7 unit/ml and 7.3 unit/ml, respectively. More amount of inoculum being added on the substrate would cause the highest enzyme activity for both of type substrate particle sizes, described that at inoculum volume of 60 ml, produced sugar was much than those of 20 ml. The best aeration rate on this research was 1.5 liter/min, the highest of enzyme activity and sugar produced were on 60-70 hours of fermentation duration. The extract activity was measured by the number of free reducer groups, 1 % soluble starch solution on pH and temperature of 45 °C

**Keyword:** corn, sugar, solid state fermentation, *Aspergillus niger*, dikumul peroksida, N-N-m-phenylenebismalimide, kekuatan tarik, kandungan gel.

### Pendahuluan

Jagung (*Zea mays L*) merupakan tanaman yang penting dan produksi di dunia menempati urutan ketiga setelah padi dan gandum. Sedangkan di Indonesia menempati urutan kedua setelah padi. Produksi jagung di Indonesia berfluktuasi dari tahun ke tahun dengan rata-rata produksi 1.7 ton per hektar (1982-1987) dan produksin total rata-rata mencapai 4,5 juta Kg per hektar pipilan kering (BPS 1987).

Jagung sebagai bahan baku industri biasanya

industri makanan antara lain makanan bayi, kue, pembuat dekstrin, pati terlarut, maltosa, sebagai bahan pengental saus, pudding, pembuatan permen jelly, "baking powder" dan digunakan dalam industri kertas dan tekstil (Readley 1967; Balai Penelitian dan Pengembangan Industri 1982).

Dari berbagai manfaat jagung dalam industri, jagung juga dapat dimanfaatkan sebagai penghasil gula. Pemanfaatan jagung menjadi gula didasarkan pada kandungan karbohidrat, pati dan gula yang cukup tinggi.

Gula jagung tidak beresiko tinggi pada pengidap diabetes (penyakit kencing manis). gula jagung



°C), dibawah suhu gelatinisasi. Asam sulfat dan klorida sering digunakan sebagai penghidrolisis. Reaksi dasar meliputi pemotongan ikatan  $\alpha$ -1,4-D-glukosidik dari amilosa dan  $\alpha$ -1,6-D-glukosidik dari amilopektin, sehingga ukuran molekul pati mengecil dan meningkatkan kecenderungan pasta untuk membuat gel. Pada saat hidrolisis granula melemah, namun tidak sampai membuat pati melarut (Furia 1968).

Selamaproses, ikatan glikosida akan terhidrolisis oleh asam menjadi rantai pendek. Hidrolisis dengan asam akan lebih sensitive pada ikatan  $\alpha$ -(1,4)-D-glikosida dibandingkan ikatan  $\alpha$ -(1,4) terdapat pada bagian kristalin, bagian ini tersusun sangat rapat sehingga sangat sukar dimasuki air dan atau asam. Bagian amorf walaupun tersusun oleh ikatan  $\alpha$ -(1,6) namun merupakan daerah yang kurang padat, amorf, dan mudah dimasuki air sehingga akan memudahkan penetrasi dan hidrolisis asam terhadap granula pati (Wurzburg 1986).

Pati dengan hidrolisis asam menunjukkan sifat-sifat yang berbeda dibandingkan dengan pati aslinya, seperti (1) penurunan viskositas, sehingga memungkinkan penggunaan pati dalam jumlah yang lebih besar (2) penurunan kemampuan pengikatan iodine (3) pengurangan pembengkakan granula selama gelatinisasi (4) penurunan viskositas intrinsic (5) peningkatan kelarutan dalam air panas dibawah suhu gelatinisasi (6) suhu gelatinisasi lebih rendah (7) penurunan tekanan osmotik (penurunan berat molekul) (8) peningkatan rasio viskositas panas terhadap viskositas dingin dan (9) peningkatan penyerapan NaOH (bilangan alkali lebih tinggi). Pati alami, sama jika dibandingkan dengan pati termodifikasi bersifat tidak larut dalam air dingin dan persamaan sifat *birefringence*-nya.

Konsentrasi asam, temperatur, konsentrasi pati dan waktu reaksi dapat bervariasi tergantung dari sifat pati yang diinginkan.

#### Hidrolisis Pati Jagung dengan Enzim $\alpha$ -Amilase

Pati dapat dipecah menjadi unit-unit yang lebih kecil dengan memotong ikatan-ikatan glikosidik. Salah satu enzim yang dapat memotong ikatan tersebut adalah enzim  $\alpha$ -amilase. Enzim  $\alpha$ -amilase ( $\alpha$ -1,4 glukanhidrolase atau EC 3.2.1.1.) terdapat pada tanaman, jaringan mamalia, jaringan mikroba.  $\alpha$ -amilase murni dapat diperoleh dari berbagai sumber, misalnya dari malt (barley), air liur manusia dan pankreas.  $\alpha$ -amilase dapat juga diisolasi dari *Aspergillus oryzae* dan *Bacillus subtilis* (Barley 1958).

$\alpha$ -amilase adalah endo enzim yang bekerja

amilopektin. Sifat dan mekanisme kerja enzim  $\alpha$ -amilase memotong ikatan dibagian tengah rantai sehingga menurunkan kemampuan pati mengikat zat warna iodium. Hidrolisis dengan enzim  $\alpha$ -amilase menyebabkan amilosa terurai menjadi maltosa dan maltotriosa. Maltotriosa pada tahap selanjutnya terurai kembali menjadi maltosa dan glukosa (Walker dan Whelan dalam Fogarty 1983).

Degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi ini terjadi sangat cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas yang cepat pula. Pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir relatif sangat lambat dan cara tidak acak. Keduanya merupakan kerja enzim  $\alpha$ -amilase pada molekul amilosa (Winarno 1983).

Kerja enzim  $\alpha$ -amilase pada amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa dan berbagai jenis  $\alpha$ -limit dekstrin, yaitu oligosakarida yang terdiri dari empat atau lebih residu gula yang semuanya mengandung ikatan  $\alpha$ -1,6 (Winarno 1983). Aktivitas optimal dari enzim dipengaruhi oleh berbagai factor. Faktor-faktor penting yang berpengaruh di antaranya adalah pH dan suhu. Kisaran pH optimum untuk enzim  $\alpha$ -amilase berkisar antara 40-60 °C (Fogarty 1983). Enzim yang dihasilkan oleh kapang *Aspergillus oryzae* mempunyai aktivitas optimum pada pH 5,5 dan suhu 37-40 °C (Hartanto 1987).

Enzim  $\alpha$ -amilase merupakan enzim yang digolongkan sebagai enzim hidrolase. Jenis ikatan rantai polimer pada amilosa lebih mudah dipotong oleh enzim  $\alpha$ -amilase dari pada jenis ikatan polimer pada amilopektin. Kerja enzim  $\alpha$ -amilase dalam menghidrolisis pati adalah dengan memotong ikatan  $\alpha$ -1,4, tetapi tidak memotong ikatan  $\alpha$ -1,6 (Fogarty 1983). Laju hidrolisis akan meningkat bila tingkat polimerisasi menurun, dan laju hidrolisis akan lebih cepat pada rantai lurus. Hidrolisis amilosa lebih cepat jika dibandingkan hidrolisis terhadap amilopektin (Girindra 1983).

Enzim  $\alpha$ -amilase tidak mengandung koenzim, tetapi merupakan kalsium metalo enzim dengan sekurang-kurangnya mengandung satu atom Ca per molekul enzim (Fischer dan Stein 1960 di dalam Fogarty 1983). Kulp (1975) menyatakan adanya ion Ca<sup>++</sup> sangat mempengaruhi aktivitas enzim  $\alpha$ -amilase. Ion Ca yang terikat dalam enzim dapat dilepaskan hanya pada pH rendah dengan menggunakan zat pengkelat. Ion logam kalsium berfungsi mengkatalis aktivitas enzim  $\alpha$ -amilase, sehingga tahan terhadap perubahan suhu, pH, perlakuan urea atau adanya prosentase seperti nensin, tripsin, substilin dan papain. Menurut Iitaker (1972), ion Ca tidak bekerja langsung dalam pembentukan kompleks enzim-substrat.

tetapi mempertahankan molekul enzim tetap dalam aktivitas dan stabilitas maksimum.

### **Fermentasi dengan Media Padat atau Koji**

Fermentasi media padat (*solid-state fermentation*) adalah fermentasi dari substrat berupa padatan pada tingkat kelembaban atau aktifitas air yang rendah. Karakteristik dari fermentasi jenis ini adalah operasi pada kandungan air rendah, yang menyediakan kondisi selektif bagi pertumbuhan mikroorganisme bermiselium seperti jamur. Karena bakteri maupun ragi tidak memiliki toleransi untuk kondisi dengan tingkat kelembaban rendah, resiko kontaminasi media fermentasi bakteri oleh bakteri maupun ragi dapat diperkecil.

Substrat untuk fermentasi keadaan padat biasa terdiri dari produk-produk pertanian atau makanan seperti beras, jagung, gandum, barley, kedelai, kacang-kacangan dan sereal lain. Beberapa substrat lain juga menarik untuk pengembangan proses industrial fermentasi padat adalah substrat yang berasal dari hasil kehutanan dan limbah-limbah pertanian (Sastramiharja 1989).

Proses fermentasi substrat padat secara aerobik dengan menggunakan satu atau lebih jenis jamur (*Aspergillus*, *Rhizopus*, *Monascus*) yang ditumbuhkan pada produk-produk pertanian atau makanan dikenal sebagai proses *koji* (Prescott Dunn 1959).

Penggunaan proses koji dalam industri yang utama adalah untuk produksi enzim-enzim oleh species jamur pada substrat-substrat hasil pertanian. Amilase dapat dihasilkan dengan fermentasi keadaan padat dari dedak gandum oleh *Aspergillus oryzae* dan *Aspergillus niger*. Enzim-enzim lain misalnya selulase, hemiselulase, protease, lipase dan paktinase juga dapat dihasilkan dengan fermentasi koji. Beberapa metabolit sekunder seperti *antibacterial agents* dihasilkan oleh *Rhizopus sp* dan *Actinomucor sp*. Pada beberapa proses fermentasi koji. Jenis-jenis mycotoksin tertentu seperti alfatoksin, dihasilkan pada fermentasi keadaan padat dari dedak padi oleh *Aspergillus parasitikus*. Proses fermentasi substrat padat umumnya dilakukan dalam reactor berbentuk bejana yang dilubangi, drum yang berputar, plat-plate yang disusun atau *packed bed* dengan sirkulasi udara.

Karakteristik yang unik dari fermentasi dengan media padat adalah kemampuan untuk membentuk lingkungan selektif pada kandungan air rendah bagi mikroorganisme bermiselium, yang dapat menghasilkan berbagai macam enzim ekstraseluler terikat pada permukaan atau bebas

Beberapa keuntungan utama fermentasi dengan media padat dibandingkan dengan kultur bawah permukaan antara lain :

1. Media lebih sederhana dan murah seperti produk atau limbah pertanian yang mungkin mengandung semua nutrisi untuk pertumbuhan mikroorganisme,
2. substrat alami yang pekat dan sedikit air memungkinkan volume reactor lebih kecil,
3. kadar air yang rendah mengurangi kemungkinan kontaminasi,
4. pemisahan produk lebih mudah,
5. efisiensi energi [Shuler dan Kargi, 1992].

Kekurangan dari fermentasi media padat adalah pemakaian inokulum untuk fermentasi yang relatif besar. Karakteristik campuran substrat yang heterogen dapat mengakibatkan masalah dalam pemantauan dan pengendalian parameter proses seperti pH, oksigen terlarut, temperatur dan konsentrasi substrat.

Variabel proses utama pada fermentasi substrat padat antara lain kandungan air (aktifitas air), jumlah inokulum, temperatur, pH, ukuran partikel dan aerasi. Optimasi dari parameter-parameter di atas untuk mendapatkan perolehan dan laju pembentukan produk maksimum merupakan kunci utama fermentasi keadaan padat, dan bergantung pada jenis substrat maupun pemilihan mikroorganisme (Shuler dan Kargi 1992).

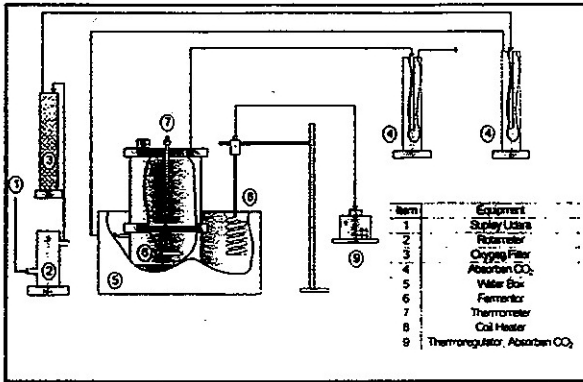
Pengembangan fermentasi media padat yang menarik untuk diteliti adalah pemanfaatan limbah organik hasil-hasil pertanian atau industri pengolahan hasil pertanian sebagai media fermentasi.

### **Perkiraan Laju Pertumbuhan Spesifik Sel Jamur pada Kultur Permukaan**

Peningkatan aktivitas enzim yang dihasilkan dari fermentasi media padat secara langsung dapat dinyatakan berhubungan dengan laju pertumbuhan mikroorganisme (Okazaki dan Sugama 1980). Laju pertumbuhan mikroorganisme dinyatakan dengan peningkatan dari berat atau konsentrasi sel.

### **Metodologi Penelitian**

Fermentasi produksi gula secara kultur permukaan pada penelitian ini dilakukan di dalam suatu fermentor. Pengoperasian dilakukan dengan metode curah (batch). Sebelum tahap fermentasi produksi dilangsungkan, proses fermentasi diawali dengan penyiapan bahan baku dan pengembangan inokulum spora jamur. Apparatus Experimental disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Apparatus Experimental.

### Tahapan Proses

Ekstraksi pati jagung dilakukan dengan tahap sebagai berikut :

Pertama-tama, biji jagung yang kering digiling sehingga diperoleh partikel-partikel yang berukuran seperti beras. Hasil penggilingan ini direndam dalam air panas pada suhu 50 °C selama empat jam.

Kemudian dilakukan pencucian untuk memisahkan kulit dan lembaganya. Setelah bersih, bahan yang diperoleh dihancurkan dengan blender dengan penambahan air. Jagung hancuran diatur pH-nya pada 8,5 dengan HCl 1N, setelah itu disentrifus untuk memisahkan proteinnya. Residu yang diperoleh diproses selanjutnya untuk memperoleh pati jagung.

Residu hasil pemisahan protein direndam dalam larutan 0,5 % NaHSO<sub>3</sub> selama semalam di dalam lemari pendingin pada suhu 4 °C. setelah itu didekantasi. Endapan yang diperoleh ditambah air lalu disaring dengan kain saring. Filtrat kemudian didekantasi. Endapan yang diperoleh direndam dalam larutan 0,1 % NaOH selama dua jam, kemudian didekantasi. Endapan yang diperoleh dibilas dengan aquades sambil disentrifus, sampai pada lapisan atas pati yang berwarna putih tidak terdapat lagi lapisan yang berwarna kuning atau kelabu.

Pati yang diperoleh dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 50 °C. Untuk mperhalus butiran pati, selanjutnya pati digiling dengan mortar kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik yang tertutup rapat selanjutnya disimpan dalam lemari pembeku.

### Pengembangan Spora Inokulum

Pengembangan spora inokulum dimulai dari kultur persediaan (*stock culture*), yang kemudian

persediaan di dalam labu kocok (*flash culture*) yang mengandung media inokulum. Jamur *Aspergillus niger* dalam media inokulum diadaptasikan dengan substrat untuk fermentasi.

Media inokulum disiapkan untuk 100 gram pati jagung steril adalah 8 gram (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 4 gram KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2 gram urea, 0,3 gram MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,4 gram CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O dan 230 ml air suling steril. Ke dalam beberpa labu erlemeyer 250 ml masing-masing dimasukkan sekitar 20 gram bubuk media inokulum, kemudian ditanami dengan spora jamur *Aspergillus niger* selama seminggu pada temperatur kamar. Media inokulum dijaga pada pH 5,0 dengan menambahkan buffer asetat. Spora inokulum dipanen dengan cara menambahkan 150 ml air suling steril yang mengandung 0,5 ml Tween 80 ke dalam labu erlemeyer dan dikocok dengan bola-bola kaca steril selama 15 menit. Suspensi spora kemudian disaring untuk memisahkan bahan yang tidak larut. Konsentrasi spora dihitung dengan alat Neubaur Chamber (Raimbault 1985).

### Pengukuran aktivitas enzim

Pengukuran aktivitas enzim dilakukan dengan menggunakan larutan Dinitrosalisilat acid (DNS). Caranya adalah : 1 ml enzim ditambahkan ke dalam 1 ml buffer pati ph 5,3. Buffer pati dibuat dengan menambah 1 gram pati ke dalam 100 ml buffer fospat 0,02M pH 5,3. Campuran ini kemudian di inkubasi pada suhu 40 °C. Setelah 3 menit, ditambah 2 ml larutan DNS dan dipanaskan pada suhu 100 °C selama 5 menit. Kemudian larutan ini di ukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 550 nm.

Unit aktivitas/mg enzim

$$= \frac{\text{mgmaltosa}}{3 \times 1000} \times \text{BMmaltosa}$$

### Fermentasi Produksi Gula

Fermentasi produksi gula dilakukan pada tray fermentor. Fermentasi dioperasikan dengan metode curah (*batch*). Substrat padat dicampurkan dengan larutan media nutrisi tambahan. Substrat kemudian ditaburkan pada tray-tray fermentor dengan ketebalan 2,0 – 2,5 cm, disterilkan dan selanjutnya diinokulasi dengan spora jamur *Aspergillus niger*. Inokulum spora ditambahkan sekitar 2,5 % dari jumlah medium yang digunakan.

Pemasakan oksigen dilakukan dengan mengalirkan udara dari bagian bawah fermentor, yg sebelumnya dilewatkan melalui penangas air humidifier. Kondisis fermentasi dijaga pada peratur 35 – 37 °C dan pH diatur pada 4,0 – 4,5

dengan menambahkan  $H_3PO_4$ . Komposisi medium yang digunakan untuk 100 gram substrat adalah 9,8 gram  $(NH_4)SO_4$ , 4 gram  $KH_2PO_4$ , 3,7 gram  $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ , 0,8 gram  $CaCl_2 \cdot 2 H_2O$ , 2 gram urea dan 96 ml air suling.

Sampel diambil dan dianalisa setiap 4 jam sekali sampai diperoleh aktifitas enzim maksimum. Analisa meliputi pengujian aktivitas enzim, kadar glukosa, konsentrasi sel (berat kering sel) dan jumlah gas  $CO_2$  yang dibebaskan. Prosedur analisa sampel lebih terperinci dijelaskan pada lampiran.

#### Variabel proses untuk fermentasi keadaan padat

Variabel proses pada penelitian ini adalah komposisi kandungan air dalam substrat pati jagung. Variasi yang akan dilakukan adalah laju aerasi, lama fermentasi, dan kandungan air dalam substrat.

Variabel lainnya adalah jenis varietas jagung. Respon yang ditinjau adalah satuan aktifitas pembentukan gula yang diperoleh.

Berdasarkan variasi di atas maka jumlah tempuhan yang dikerjakan pada percobaan ini adalah  $2 \times 4 = 8$  tempuhan.

#### Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini dipaparkan mengenai hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian, disertai dengan analisa dan penjelasan menyangkut unjuk kerja maupun fenomena yang terjadi pada proses bersangkutan.

#### Produksi Gula dari *Aspergillus Niger*

Telah dilaporkan bahwa enzim amilase dan glucoamilase dari *Aspergillus Niger* merupakan enzim ekstraseluler yang bersifat induktif. Jadi untuk produksi gula dari enzim amilase dan glucoamilase dari *Aspergillus Niger* diperlukan senyawa yang bersifat induktif yaitu senyawa yang mampu mengimbas bio sintesa enzim (inducer) dalam media fermentasi.

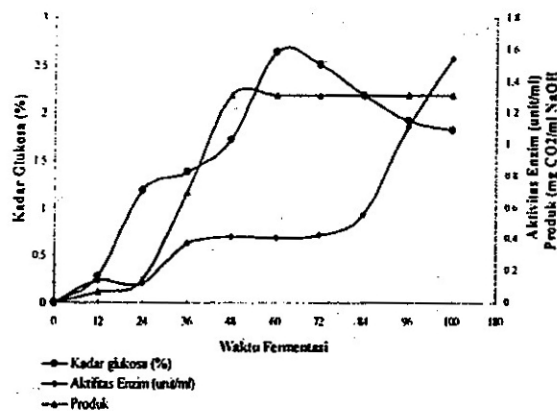
Pada produksi gula dalam penelitian ini inducer yang digunakan terdapat dalam substrat pati jagung yang mengandung glukosa. Pengamatan selama percobaan menunjukkan perbedaan ukuran partikel, pemberian jumlah inokulum dan laju aerasi yang digunakan memberikan perbedaan pola produksi gula selama fermentasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktifitas ekstrak kasar enzim yang diperoleh dari substrat pati jagung dengan ukuran partikel lebih kecil memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan

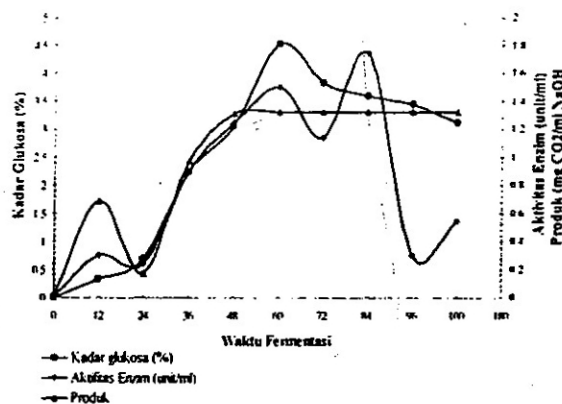
enzim pembentuk glukosa karena kerja enzim lebih cepat.

Aktifitas enzim maksimum yang diperoleh untuk substart dengan ukuran partikel kecil adalah 4,12 mg group pereduksi/menit/gram substrat pati jagung. Aktifitas enzim maksimum untuk substrat dengan ukuran patikel 40 mesh adalah 2,98 mg group pereduksi/menit/gram substrat pati jagung.

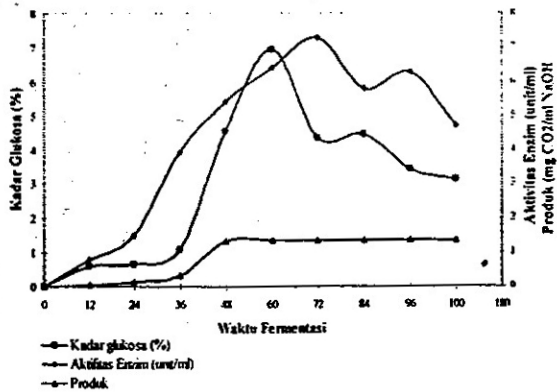
Aktifitas enzim maksimum diperoleh pada waktu inkubasi mencapai 54-60 jam. Laju pertumbuhan sel maksimum fasa eksponensial pada waktu ini telah dicapai. Aktifitas enzim akan berkurang selama fasa stasioner. Hal ini dapat dijelaskan bahwa peningkatan aktifitas enzim berhubungan dengan pola pertumbuhan sel.



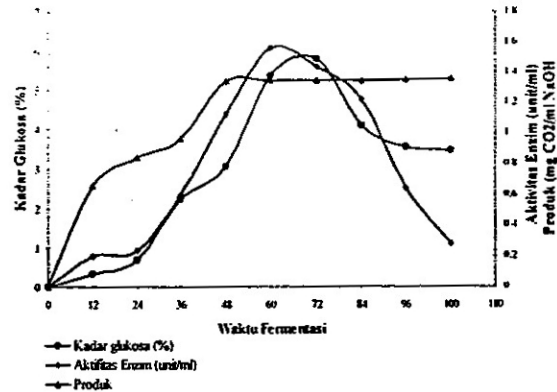
Gambar 2. Kurva hubungan kadar glukosa, aktivitas enzim dan produk  $CO_2$  terhadap waktu fermentasi untuk 20 ml; 40 mesh; 1,5 liter/menit.



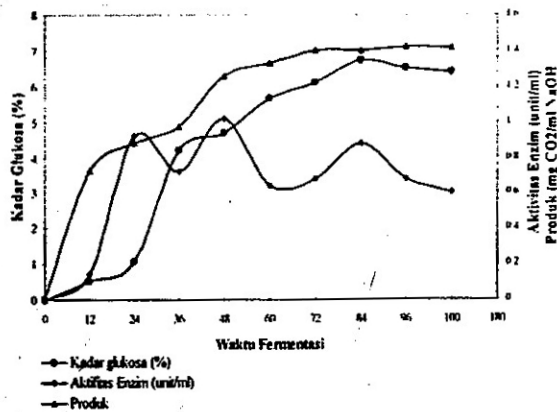
Gambar 3. Kurva hubungan kadar glukosa, aktivitas enzim dan produk  $CO_2$  terhadap waktu fermentasi untuk 20 ml; 40 mesh; 1,5 liter/menit.



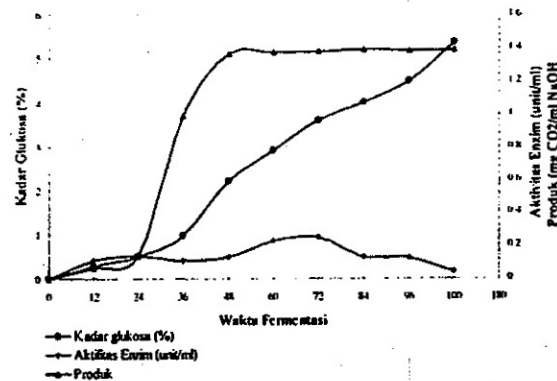
**Gambar 4.** Kurva hubungan kadar glukosa, aktivitas enzim dan produk CO<sub>2</sub> terhadap waktu fermentasi untuk 20 ml; 40 mesh; 1,5 liter/menit.



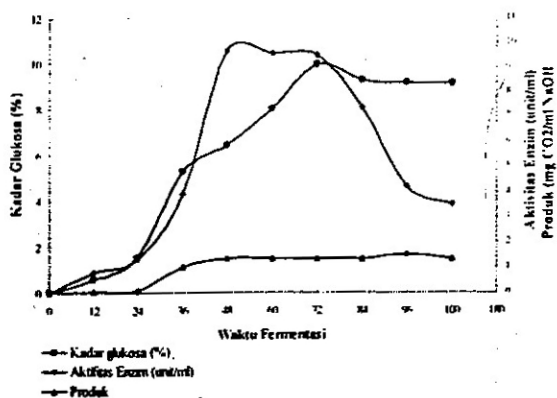
**Gambar 7.** Kurva hubungan kadar glukosa, aktivitas enzim dan produk CO<sub>2</sub> terhadap waktu fermentasi untuk 20 ml; 40 mesh; 1,5 liter/menit.



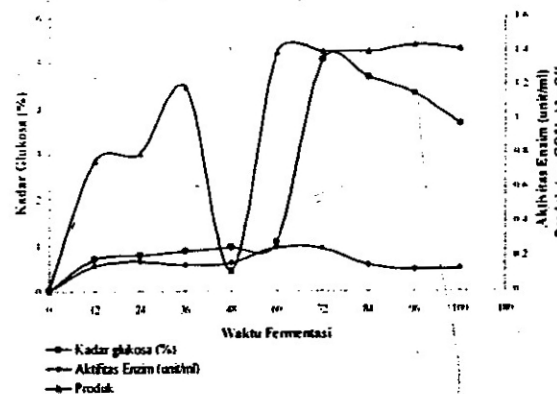
**Gambar 5.** Kurva hubungan kadar glukosa, aktivitas enzim dan produk CO<sub>2</sub> terhadap waktu fermentasi untuk 20 ml; 40 mesh; 1,5 liter/menit.



**Gambar 8.** Kurva hubungan kadar glukosa, aktivitas enzim dan produk CO<sub>2</sub> terhadap waktu fermentasi untuk 20 ml; 40 mesh; 1,5 liter/menit.



**Gambar 6.** Kurva hubungan kadar glukosa, aktivitas enzim dan produk CO<sub>2</sub> terhadap waktu fermentasi untuk 20 ml; 40 mesh; 1,5 liter/menit.



**Gambar 9.** Kurva hubungan kadar glukosa, aktivitas enzim dan produk CO<sub>2</sub> terhadap waktu fermentasi untuk 20 ml; 40 mesh; 1,5 liter/menit.

**Pengaruh Laju Aerasi Terhadap Produksi Gula dan Aktivitas Enzim**

Proses fermentasi secara umum adalah aerobik, sehingga membutuhkan adanya oksigen (Stanbury Whitaker 1984). Aerasi penting, terutama ik mensuplai kebutuhan oksigen bagi mikroba

dalam melangsungkan metabolisme yang layak. sedangkan fungsi sekundernya ialah untuk mempertahankan mikroba tetap dalam suspensi media fermentasi (Wang *et al* 1979). Disamping itu kecepatan transfer massa produk metabolit dapat dipercepat dengan adanya aerasi (Aiba Hu,phrey dan Millis 1973).

Pertumbuhan miselia sel mikroorganisme pada pembenihan dengan kultur padat diketahui sebanding dengan laju konsumsi oksigen dan laju produk CO<sub>2</sub> yang dibebaskan selama pertumbuhan. Keadaan ini terutama dijumpai pada fasa-fasa awal pertumbuhan (fasa eksponensial), tetapi tidak berlaku untuk fasa-fasa selanjutnya (fasa perlambatan dan fasa stasioner).

Gambar 2-9 menunjukkan kurva hubungan produksi gula dengan laju aerasi, terlihat bahwa semakin besar laju aerasi yang diberikan selama fermentasi, produksi glukosa dan aktivitas enzim akan menurun. Dari hasil pengamatan selama tempuhan terlihat bahwa semakin tinggi laju aerasi yang diberikan kadar air medium semakin tinggi dan semakin cepat terbentuk spora (pertumbuhan telah mencapai fasa stasioner) dan produksi glukosa dan aktivitas enzim semakin rendah. Hal ini disebabkan karena sebagian besar energi yang digunakan untuk mensintesa spora baru sehingga energi yang tersisa untuk mensintesa enzim berkurang, akibatnya produksi glukosa dan aktivitas enzim menurun.

Hasil penelitian untuk aktivitas enzim menunjukkan aktivitas enzim sangat berpengaruh terhadap laju aerasi. Pada laju aerasi 1,5 liter/menit, aktivitas enzim yang dihasilkan 9,6 unit/ml, sedangkan untuk laju aerasi yang lebih besar 5 liter/menit, aktivitas enzim yang dihasilkan menjadi lebih kecil yaitu 1,5 unit/ml.

#### **Pengaruh Penambahan Inokulum Terhadap Produksi Glukosa dan Aktivitas Enzim**

Usaha untuk melakukan fermentasi enzim mikroba sangat berkaitan dengan upaya pemilihan strain mikroorganisme yang sesuai, penyediaan substrat dan kondisi pembiakan. Salah satu cara untuk meningkatkan produksi glukosa dengan menggunakan substrat pati jagung adalah dengan penambahan inokulum yang sesuai sehingga tidak terjadi pemborosan inokulum.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi glukosa akan meningkat apabila volume inokulum yang ditambahkan semakin banyak, karena salah satu kekurangan dari fermentasi dengan media padat adalah pemakaian inokulum untuk fermentasi yang relatif banyak.

penambahan inokulum 20 ml, berakibat penurunan kadar glukosa yang dihasilkan yaitu 6,4%. Pemberian inokulum 60 ml memberi peningkatan perolehan kadar glukosa menjadi 9,97%, dan Gambar 2-9. untuk efektivitas enzim juga menunjukkan pengaruh yang sangat nyata, dengan volume inokulum 60 ml didapat aktivitas enzim 9,6 unit/ml, sedangkan penambahan inokulum 20 ml didapat aktivitas enzim 6,4 unit/ml.

#### **Hubungan Antara Produksi Glukosa dan Aktivitas Enzim**

Peningkatan aktivitas enzim yang dihasilkan dari fermentasi media padat secara langsung dapat dinyatakan berhubungan dengan laju pembentukan produk (Okazaki dan Sugama 1980).

Hasil pengamatan selama penelitian, terlihat dari Gambar 2-9 produk akan meningkat apabila aktivitas enzim juga meningkat. Laju pertumbuhan organisme dalam hal ini berhubungan dengan aktivitas enzim dinyatakan dengan peningkatan dari berat atau konsentrasi sel. Sintesa dan pembebasan enzim terjadi bersamaan dengan pertumbuhan dan akan menurun pada saat sel memasuki fasa pertumbuhan stasioner.

Produksi gula dan aktivitas enzim terhadap waktu fermentasi, terlihat berfluktuasi. Hal ini disebabkan karena sintesa enzim yang mendegradasi molekul besar menjadi molekul kecil diatur oleh inhibisi dan represi katabolit. Enzim amilase dan glukamilase adalah enzim yang dapat diinhibisi dan direpresi oleh kehadiran glukosa (Wang *et al* 1979). Bila kandungan glukosa di dalam medium sudah berkurang, enzim akan disintesa, sedangkan bila kandungan glukosa dalam medium berlebih, maka glukosa akan merepresi pembentukan enzim dan menginhibisi aktivitas enzim.

Selain disebabkan oleh represi katabolit, fluktuasi aktivitas enzim juga disebabkan oleh keadaan medium yang heterogen pada fermentasi substrat padat. Keadaan ini dapat dihindari karena untuk mencapai keadaan homogen harus dilakukan pengadukan secara kontinu. Pada penelitian ini pengadukan hanya dilakukan pada pengambilan sampel pertama, karena semakin lama waktu fermentasi, miselium tumbuh membentuk massa yang semakin kompak. Jika dilakukan pengadukan dikawatirkan terjadi kerusakan pada miselium sehingga lebih banyak energi digunakan untuk regenerasi sel dan bukan untuk memproduksi enzim.

Penurunan aktivitas enzim atau aktivitas enzim yang berfluktuasi diduga disebabkan oleh kehadiran enzim protease yang ikut disintesa oleh sel. Menurut Barton dkk (1972) enzim protease juga

akan disintesa dalam produksi enzim glukoamilase dari *Aspergillus Niger*. Enzim protease dapat menyebabkan autolisis protein enzim sehingga keaktifan enzim menjadi hilang. Aktifitas enzim selanjutnya meningkat kembali setelah aktifitas enzim protease mulai menurun. Se dan Ueda (1979) melaporkan bahwa aktifitas enzim glukoamilase akan meningkat setelah aktifitas enzim protease mengalami penurunan. Penurunan aktifitas enzim berikutnya disebabkan oleh berhentinya sintesa enzim karena represi produk akhir dan represi katabolit atau karena enzim-enzim mulai tidak aktif atau rusak. Forgyat (1983) melaporkan bahwa sintesa enzim ekstraseluler sebagian besar akan mengalami represi katabolit.

### Profil Produksi Gula dan Pembentukan Produk Gas

Pola produksi gula dan pembentukan produk respirasi gas CO<sub>2</sub> dari jamur *Aspergillus niger* dapat dinyatakan dengan mengalurkan produk gas CO<sub>2</sub> dan kadar glukosa yang dihasilkan terhadap waktu. Profil dari kurva hubungan ini dapat diindikasikan sebagai pola dari pertumbuhan sel jamur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan oksigen bagi mikroba sangat berpengaruh terhadap pembentukan produk gula, ini terlihat bahwa laju pertumbuhan akan meningkat dengan peningkatan konsentrasi nitrogen dari substrat.

### Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Produksi gula maksimum yang dihasilkan dari substrat pati jagung sangat berpengaruh terhadap pemberian inokulum, laju aerasi dan ukuran partikel dari substrat.
2. Substrat pati jagung dengan ukuran partikel lebih besar mempunyai potensi yang lebih baik dalam menghasilkan gula dibandingkan dengan ukuran partikel substrat lebih kecil.

Aktivitas enzim dan kadar glukosa yang diperoleh untuk masing-masing ukuran partikel substrat pati jagung adalah :

|                           |         |         |
|---------------------------|---------|---------|
|                           | 60 mesh | 40 mesh |
| Aktivitas enzim (unit/ml) | 7,3     | 9,7     |
| Kadar glukosa (%)         | 6,95    | 9,97    |

3. Produksi gula pada fermentasi kultur padat dengan menggunakan mikroba *Aspergillus*

Aktivitas enzim yang dihasilkan mencapai maksimum pada puncak pertumbuhan eksponensial dan cenderung berkurang selama fase stasioner. Fase pertumbuhan eksponensial berlangsung sampai 60-72 jam.

4. Aktifitas optimum enzim diperoleh pada laju aerasi 1,5 liter/menit, jumlah inokulum 60 ml, ukuran partikel 60 mesh dan waktu fermentasi 60-72 jam.

### Saran

1. Kajian metoda pemurnian ekstrak kasar enzim perlu dilakukan untuk meningkatkan aktifitas spesifik enzim pembentuk glukosa.
2. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui kemungkinan penggunaan jenis bioreaktor yang sesuai untuk fermentasi produksi gula yang memanfaatkan substrat pati jagung sebagai medium.
3. penelitian lanjutan diperlukan minimal tiga variasi, untuk mendapatkan hasil yang optimum.
4. Studi lebih lanjut diperlukan untuk membuat suatu model matematik, guna mendapatkan satu persamaan dan persamaan tersebut bisa dipakai untuk fermentasi keadaan padat dalam produksi gula.

### Daftar Pustaka

- Anonymous, 1992, Survei Pertanian : Produksi Pangan di Indonesia 1990, Biro Pusat Statistik, Jakarta.
- Atkinson. B., Mavituna. F., 1983. Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook, The Nature Press, New York, 279-282.
- Bajracharya R., Mudgett RE., 1980. Effects of Controlled Gas environment in Solid Substrate Fermentation of Rice, Biotechnology and Bioengineering, 22, 2219-2235.
- Bailey, W.M dan Kelly. D.F. 1986. Bichemical Engineering Fundamentals. edisi 2, Mc.Graw Hill, New York, 373-456.
- Durand A., D. de la Broise, Blachere, H, 1988, Laboratory Scale Reactor for Solid State Processes. Journal of Biotechnology. 8, 59-66.
- Durand A., Chereau D., 1988, A New Pilot Reactor for Solid State Fermentation : Application to the Protein Enrichment of Sugar Beet Pulp, Biotechnology and Bioengineering. 31. 476-486.





- Ellis Roger P., Cochrane P.M., 1988, Starch Production and Industrial Use, *J. Sci Food Agric*, 77, 289-311.
- Godfrey T., Rechelt J., 1983, *The Application of Enzymes in Industry*, Stockton Press, 735-396.
- H. Dressler, Kirk Otmhe, 1981, *Encyclopedia of Chemical Engineering* 3<sup>rd</sup> ed, Wiley, New York, Vol 191, p 672-689.
- Hesseltine, C.W., 1972, *Biotechnology Report : Solid State Fermentation*, *J. Biotechnology and Bioengineering*, 14, 517-532.
- Joslyn, M.A., 1973, *Methodes in Food Analysis*, edisi 2, Academic Press, New York, 333-344.
- Rachmat Rukmana H, 1977, *Usaha Tani Jagung*, Kanisius, 11-18.
- Ratbhun, B.L., Shulder, M.L., 1983, *Heat and Mass Transfer Effects in Static Solid State Fermentation : Design of Fermentation Chambers*, *J. Biotechnology and Bioengineering*, 25 929-938.
- Smith, Jhon E, 1985, *Prinsip Bioteknologi*. P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 80-88 dan 116-125.
- Sofia Irwan, 1996, *Produksi Pektinase dari Kulit Pisang dengan Jamur Aspergillus Niger*, Thesis Magister, Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sudarmadji S. Dan Bambang H.S., 1984, *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*, edisi ketiga, Liberty, Yokyakarta, 27-39.
- Sastramihardja, 1989, *Prinsip Dasar Mikrobiology Industri*. edisi I, PAU Bioteknologi, ITB, Bandung, 233-246.
- Shuler, M.L. and Kargi F., 1982, *Bioprocess Engineering, Basic Concept*, Prenticfe Hall, New Jersey, 262-265.
- Sugama, S and Okazaki, N, 1979, *Growth Estimation of Aspergillus Oryze Cultured on Solid Media*, *J. Ferment. Technology*, 57 p.408-312.
- Tengerdy and V.G. Murphy, 1984, *Optimization of Solid Substrate Fermentation of Wheat Straw*, *J. Biotechnology and Bioengineering*, 27, 20-27.
- Zainurta S., 1992, *Modifikasi Pati Jagung dengan Hidrolisis Asam (HCl) dan Enzim  $\alpha$ -Amilase*, Thesis Magister, Fateta, IPB, Bogor.

