

## KAJIAN HIDROLISA STARCH SAGU OLEH ENZIM GLUCOAMYLASE DAN PULLULANASE UNTUK PRODUKSI ASAM ORGANIK

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

### Abstrak

Sagu merupakan sumber pati dan karbohidrat yang bisa dikembangkan menjadi aneka produk bernilai ekonomi tinggi. Meskipun Indonesia merupakan negara penghasil sagu terbesar di dunia, namun teknologi pemanfaatan sagu di Indonesia masih sangat sederhana. Salah satu potensi pengembangan starch sagu adalah sebagai bahan baku produksi asam-asam organik seperti asam sitrat maupun asam glukonat. Starch sagu memiliki kadar starch (pati) yang cukup tinggi yaitu mencapai 98.2%. Proses konversi glukosa starch sagu menjadi asam-asam organik didahului proses hidrolisa. Hidrolisa starch secara enzymatic dengan menggunakan enzyme Glucoamylase dan Pullulanase dapat mengatasi permasalahan yang timbul pada proses hidrolisa starch asam. Kelebihan dari hidrolisa enzimatis antara lain konversi glukosa menjadi D glukosa lebih tinggi, biaya produksi yang lebih rendah, tidak mempengaruhi warna produk dan tidak dihasilkan endapan garam. Proses konversi starch menjadi glukosa dibagi menjadi tiga tahapan yakni gelatinisasi, liquefaction dan saccharification. Terdapat beberapa jenis enzyme yang digunakan dalam proses hidrolisa enzimatis, diantaranya adalah enzyme glucoamylase dan pullulanase. Sumber dari enzim glucoamylase adalah *Aspergillus niger* sedangkan sumber dari enzim pullulanase adalah *Basillus acidopullulyticus*. Glucoamylase bekerja memecah ikatan  $\alpha$ -1,4  $\alpha$ -1,6- untuk menghasilkan  $\alpha$ -glucose dan enzim pullulanase bekerja memecah ikatan  $\alpha$ -1,6-links untuk menghasilkan maltodextrins rantai lurus.

**Key words :** glucoamylase, hidrolisa, pullulanase, starch sagu

### Pendahuluan

Indonesia merupakan negara penghasil sagu terbesar di dunia dengan luas lahan yang ditanami sagu sebesar 1.25 juta Ha (Flach, 1999). Berdasarkan data Perhimpunan Pendayagunaan Sagu Indonesia (PPSI), produksi sagu nasional saat ini mencapai 200.000 ton per tahun atau baru mencapai sekitar 5 persen dari potensi sagu nasional. Rendahnya produksi nasional juga diakibatkan oleh teknologi pemanfaatannya masih sangat sederhana dan tradisional. Padahal teknologi budi daya sagu tergolong mudah dan sederhana serta lebih ekonomis dibandingkan budi daya kelapa sawit atau padi. Setiap batang sagu mengandung sekitar 200 kg sagu sehingga setiap hektar tanaman sagu memproduksi 20-25 ton per hektar. Secara ekonomi, nilai ekonomi budi daya sagu cukup tinggi. Yang diperlukan saat ini adalah teknologi pengolahan untuk menghasilkan beragam produk berbahan baku sagu (Nardiman, Suara Pembaharuan, 2004)

Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan proses produksi asam organik terus dikembangkan, baik penelitian yang berkaitan dengan mikroba penghasil enzyme yang dapat mengkonversi glukosa menjadi asam organik maupun pencarian sumber-sumber bahan baku pembuatan glukosa selain molasses. Vassilev dkk meneliti penggunaan hydrol (corn starch hydrolisate) sebagai sumber karbon pada pembuatan asam glukonat, sedangkan Rao dan Panda menggunakan indian cane molasses. Mengingat di Indonesia ketersediaan sagu sangat melimpah, serta masih belum optimalnya pemanfaatan sagu, maka dipandang tepat dan perlu untuk dilakukan penelitian mengenai pembuatan asam organik dengan memanfaatkan sagu sebagai sumber karbon. Namun demikian, proses pembuatan asam organik dari sagu harus melewati proses hidrolisa starch sagu yang akan mengubah karbohidrat menjadi D-glukose. Selama ini, hidrolisa pati dilakukan dengan penambahan asam, namun proses hidrolisa asam

<sup>\*)</sup> Jurusan Teknik Kimia Universitas Wahid Hasyim Semarang

<sup>\*\*)</sup> Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang

memiliki berbagai kelemahan diantaranya yakni, memerlukan peralatan yang tahan terhadap sifat korosifitas asam, harga peralatan yang mahal, produk yang dihasilkan memiliki warna yang tidak sesuai dengan spek pasar karena adanya impuritas akibat penambahan basa (sebagai penetral), biaya produksi yang lebih tinggi karena diperlukan proses pemanasan yang cukup tinggi. Guna mengatasi hal tersebut perlu dicari alternatif proses hidrolisa. Hidrolisa starch secara enzymatic dengan menggunakan enzyme Glucoamylase dan Pullulanase dapat mengatasi permasalahan yang timbul pada proses hidrolisa starch asam. Mengingat hidrolisa secara enzymatic memiliki banyak keuntungan bila dibandingkan dengan proses hidrolisa konvensional menggunakan asam. Kelebihan-kelebihan tersebut diantaranya

- Konversi glukosa menjadi D glukosa lebih tinggi, bisa mencapai 97%
- Suhu operasi lebih rendah
- Harga peralatan lebih murah
- Tidak diperlukan peralatan yang tahan terhadap korosi
- Hidrolisa secara enzymatic tidak mempengaruhi warna produk
- Biaya produksi lebih rendah
- Hemat akan bahan kimia, karena tidak memerlukan bahan kimia penetral
- Tidak dihasilkan endapan garam

#### Starch sagu

Pada dasarnya, starch merupakan campuran dua tipe polimer yakni amylose dan amylopektin. Struktur amylose dan amylopektin dapat disajikan pada gambar 1. Starch merupakan polisakarida yang terdiri dari unit anhidroglukosa ( $C_6H_{10}O_6$ ). Unit-unit glukosa berikatan melalui ikatan glukosidic. Ikatan tersebut dapat dihidrolisa oleh enzyme atau asam, namun tetap stabil dalam suasana basa.

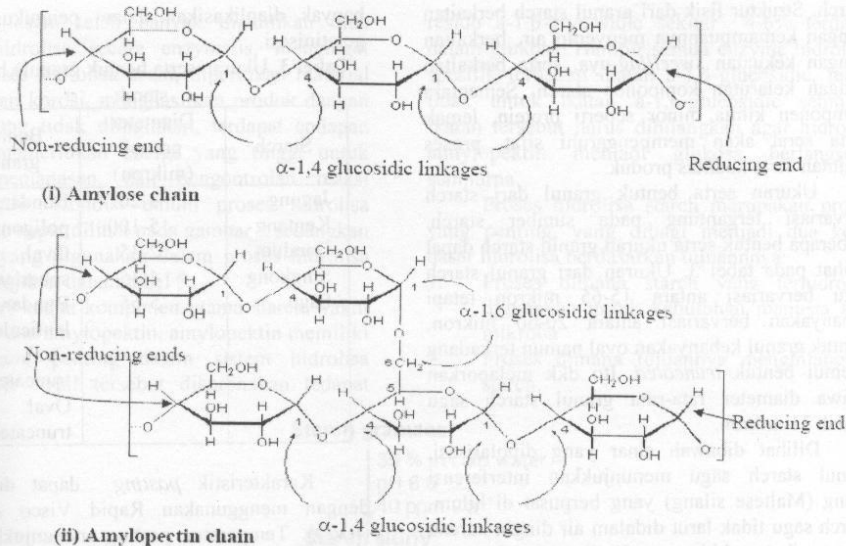
Starch sagu diperoleh dari pith tanaman sagu yang tersebar di kawasan asia dan pasifik.

Ada 11 spesies dari 8 genera yang telah diidentifikasi dapat menghasilkan starch dari batang pith, yakni *Arecastrum romanzofianum*, *Arenga pinnata*, *Caryota aequatorialis*, *Corypa umbraculifera*, *Corypa utan*, *Euggisona insignis*, *eugginosa utilis*, *Mauritia flexiosa*, *Metroxylon rumpii* dan *Roystonea oleraceae*. Diantara beberapa jenis tanaman palm tersebut *Metroxylon rumpii* dan *Arenga pinnata* merupakan sumber starch sagu terbesar. *Metroxylon rumpii* tumbuh liar serta dibudidayakan di Indonesia (terutama di papua), malaysia dan di papua newguniea. Starch sagu merupakan makanan pokok masyarakat maluku, serta papua. Starch sagu yang diperoleh dari *Metroxylon rumpii* memiliki karakteristik yang lebih baik bila dibandingkan starch sagu yang didapat dari *Arenga pinnata*, bahkan bila starch sagu dari *Arenga pinnata* digunakan sebagai makanan pokok dapat menyebabkan sakit perut.

Kuantitas starch sagu yang dihasilkan dari *Metroxylon rumpii* sangat besar, dari sebatang tanaman sagu dapat diperoleh starch sebanyak 250 kg sementara dari *Arenga pinnata* dapat dihasilkan 75 kg per batang.

Ekstraksi starch sagu dari pith tanaman sagu meliputi beberapa tahap:

- Batang tanaman dipotong  $\pm 1$  meter
- Pemisahan pith dari batang
- Penumbukan atau pencacahan pith agar starch terlepas
- Pencucian dan penyaringan guna mengekstrak starch dari residu yang berupa serat
- Suspensi raw starch sagu dikumpulkan dan diendapkan didalam kontainer
- Melalui proses dekanter, lapisan endapan starch dipisahkan
- Starch sagu dikeringkan sehingga starch sagu berbentuk tepung.



Gambar 1. Struktur amylose dan amylopektin

Seperti halnya starch dari tanaman lain seperti singkong maupun jagung, starch dari sagu mengandung kadar pati (starch) yang tinggi. Komposisi kimia starch sagu dapat dilihat pada

Tabel 1. Bila dibandingkan dengan starch dari singkong kadar abunya lebih tinggi, namun kandungan serat, protein serta lemaknya relatif sama.

Tabel 1. Komposisi kimia berbagai starch

| Sumber         | starch | protein | lemak | serat | abu  |
|----------------|--------|---------|-------|-------|------|
| Raw starch     |        |         |       |       |      |
| • Jagung       | 71     | 10.71   | 4.76  | 2.38  | 0.10 |
| • Kentang      | 82     | 9.09    | 0.46  | 3.18  | 0.40 |
| • Gandum       | 74     | 15.12   | 2.33  | 3.49  | 0.15 |
| • Singkong     | 77     | 2.94    | 0.88  | 2.94  | 0.20 |
| Refined starch |        |         |       |       |      |
| • Jagung       | 98.9   | 0.51    | 0.17  | 0.25  | 0.11 |
| • Sagu         | 98.2   | 0.63    | 0.33  | 0.36  | 0.26 |

Ratio amylosa-amylopektin spesifik untuk tiap-tiap jenis starch, seperti ditampilkan dalam Tabel 2. Ito dkk menemukan bahwa kandungan amylose dan kandungan amylopektin pada starch sagu adalah 27% dan 83%. Amylose pada starch dapat direcovery dengan jalan didisolusi dengan menggunakan dimetil sulfoxide (DMSO) kemudian dipresipitasi dengan menggunakan butanol. Reaksi antara amylosa dengan butanol akan membentuk kompleks kristal yang tidak larut.

Tabel 2 Rasio amylose-amylopektin pada berbagai starch

| Starch   | Amylose | Amylopektin |
|----------|---------|-------------|
| Jagung   | 28      | 72          |
| Kentang  | 21      | 79          |
| Gandum   | 28      | 72          |
| Singkong | 17      | 83          |
| Sagu     | 27      | 73          |

Swinkels, 1985

#### Sifat fisiokimia starch sagu

Sifat fisiokimia meliputi dispersi, gelatinisasi, pasting serta komposisi kimia dari

starch. Struktur fisik dari granul starch berkaitan dengan kemampuannya menyerap air, berkaitan dengan kekuatan *swelling*-nya, serta berkaitan dengan kelarutan komponen starch. Sementara komponen kimia minor seperti protein, lemak serta serat akan mempengaruhi sifat, proses lanjutan serta kualitas produk.

Ukuran serta bentuk granul dari starch bervariasi tergantung pada sumber starch. Beberapa bentuk serta ukuran granul starch dapat dilihat pada tabel 3. Ukuran dari granul starch sagu bervariasi antara 15-65 mikron tetapi kebanyakan bervariasi antara 20-60 mikron. Bentuk granul kebanyakan oval namun terkadang ditemui bentuk *truncated*. Ito dkk melaporkan bahwa diameter rata-rata granul starch sagu adalah 31 mikron.

Dilihat dibawah sinar yang dipolarisasi, granul starch sagu menunjukkan interferensi silang (Maltese silang) yang berpusat di hilum. Starch sagu tidak larut didalam air dingin karena adanya ikatan hidrogen. Ketika granul starch sagu dipanaskan secara perlahan polarisasi silang tersebut akan menghilang pada hilum dan granul akan mulai menggelembung. Hal tersebut menandakan proses gelatinisasi mulai berjalan. Proses gelatinisasi dapat diukur serta diamati seiring dengan makin meningkatnya transmittance optik serta meningkatnya viskositas. Diantara beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur suhu gelatinisasi, Differential Scanning Calorimeter (DSC) serta Kofler-hot-stage microscope merupakan metode yang

banyak diaplikasikan dalam pengukuran suhu gelatinisasi.

**Tabel 3.** Ukuran serta bentuk granule berbagai starch

| Starch   | Diameter granul (mikron) | Bentuk granul      |
|----------|--------------------------|--------------------|
| Jagung   | 3-26                     | Bundar,            |
| Kentang  | 5-100                    | poligonal          |
| Gandum   | 2-35                     | Oval,              |
| Singkong | 4-35                     | spherical          |
| Sagu     | 5-65                     | Bundar, lenticular |
|          |                          | Oval, truncated    |
|          |                          | Oval, truncated    |

Karakteristik *pasting* dapat ditentukan dengan menggunakan Rapid Visco Analyzer (RVO). Temperatur *pasting* menunjukkan titik dimana viskositas mulai naik. Viskositas starch akan naik hingga mencapai suatu puncak. Titik puncak tersebut menandakan kekuatan *thickening*. Setelah mencapai puncak, viskositas akan turun kembali seiring dengan pecahnya gelembung granul starch. Pada proses pendinginan, viskositas akan naik kembali, ini menunjukkan titik *retrogradasi* (set back), dimana molekul starch kembali berasosiasi. Karakteristik *pasting* beberapa starch dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

**Tabel 4.** Karakteristik *pasting* berbagai starch

| Starch   | Temperature <i>Pasting</i> (°C) | Puncak Viskositas (BU) | Swelling Power (95°C) | Laju retrogradasi |
|----------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
| Jagung   | 75-80                           | 700                    | 24                    | Tinggi            |
| Kentang  | 60-65                           | 3000                   | 1153                  | Medium            |
| Gandum   | 80-85                           | 200                    | 21                    | Tinggi            |
| Singkong | 65-70                           | 1200                   | 71                    | Rendah            |
| Sagu     | 65-70                           | 1100                   | 97                    | Tinggi            |

#### Hidrolisa Enzymatic

Starch merupakan karbohidrat yang tersimpan didalam tumbuh-tumbuhan. Starch digunakan oleh tumbuhan itu sendiri maupun oleh mikroba dan organisme lain yang lebih tinggi, sehingga terdapat berbagai enzyme yang mampu mengkatalisasi proses hidrolisanya. Starch dari berbagai sumber tanaman berada dalam bentuk granule yang berbeda ukuran maupun karakteristik fisiknya tergantung dari spesies tumbuhan asalnya. Perbedaan stuktur

kimianya tidak begitu besar. Perbedaan yang utama adalah rasio amylose dan amylopektinnya, misal starch jagung dari *waxy maize* hanya terdiri dari 2% amylose sedangkan starch jagung dari *amylomaize* terdiri dari 80% amylose. Beberapa starch, misalnya starch kentang mengandung ikatan kovalen phsphat dalam jumlah kecil (0.2%) yang secara signifikan berpengaruh terhadap sifat fisiknya, namun tidak berpengaruh terhadap proses hidrolisis. Hidrolisa asam telah lama diaplikasikan, tetapi kini proses



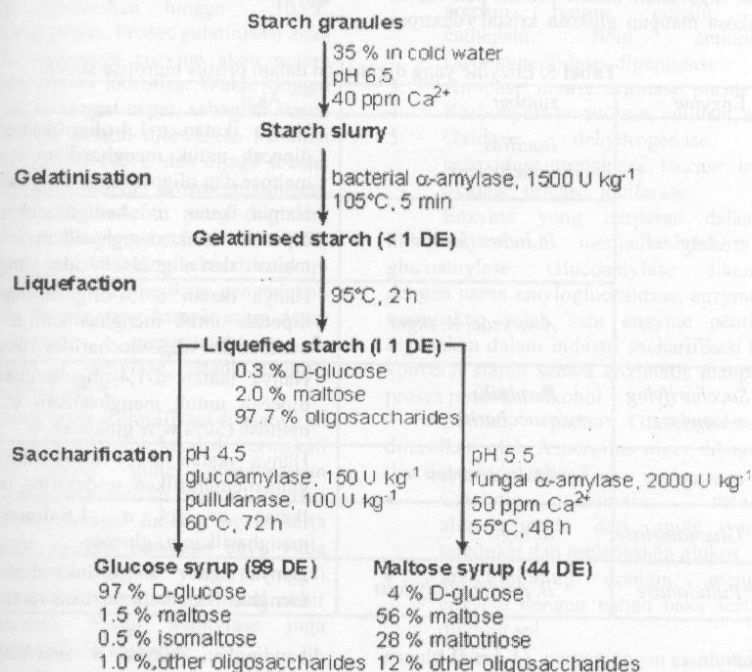
hidrolisa asam telah banyak digantikan oleh proses hidrolisa secara enzimatis, mengingat pada proses hidrolisa asam, diperlukan material yang tahan korosi, menghasilkan produk dengan warna yang tidak diinginkan, terdapat endapan garam, memerlukan energi yang tinggi untuk proses pemanasan, dan pengontrolan reaksi cukup sulit. Kondisi umum proses hidrolisa enzimatis dapat dilihat pada gambar 2 sedangkan enzyme yang digunakan dalam proses hidrolisa starch disajikan dalam tabel 5.

Dari kedua komponen utama starch, yakni amylose dan amylopektin, amylopektin memiliki peran yang penting dalam sistem hidrolisa enzymatic. Hal tersebut dikarenakan terdapat

residu  $\alpha$ -1,6-glycosidic sekitar 4-6% terdapat dalam glukosa. Hampir semua enzyme hidrolisis spesifik terhadap ikatan  $\alpha$ -1,4-glucosidic, tetapi tidak untuk ikatan  $\alpha$ -1,6-glucosidic sehingga ikatan tersebut harus dihilangkan agar hidrolisa amylopektin menjadi glukosa berlangsung sempurna.

Proses hidrolisa starch merupakan proses yang penting, yang dibagi menjadi dua kelas dasar hidrolisa berdasarkan tujuannya:

1. Proses dimana starch yang terhidrolisa digunakan untuk kebutuhan manusia atau mikroba
2. Proses dimana tujuannya menghilangkan starch.



Gambar 2. Kondisi umum proses hidrolisa starch menggunakan enzyme.

Proses konversi starch menjadi glukosa dibagi menjadi tiga tahapan, (gambar2), yakni

1. Gelatinisasi, melibatkan pelarutan starch dengan ukuran nanogram untuk membentuk suspensi yang memiliki viskositas tertentu.
2. liquefaction, melibatkan hidrolisa parsial starch, pada tahapan ini viskositas suspensi berkurang

3. saccharification, proses produksi glukosa melalui proses hidrolisa lebih lanjut.

Gelatinisasi dilakukan dengan proses pemanasan starch dengan air. Proses ini dapat berlangsung secara alamiah ketika makanan dengan kandungan starch dimasak. Starch yang tergelatinisasi dapat dilikwififikasi dan terhidrolisa parsial oleh enzyme atau asam dan dihidrolisa lebih lanjut oleh enzyme hidrolisa.

Produk hasil hidrolisis dinyatakan dalam DE (dextrose equivalent), definisi yang hampir

$$DE = 100 \times \left( \frac{\text{Number of glycosidic bonds cleaved}}{\text{Initial number of glycosidic bonds present}} \right) \quad (4.2)$$

Pada prakteknya, guna penentuan secara analitik digunakan ekspresi DE sebagai

$$DE = 100 \times \left( \frac{\text{Reducing sugar, expressed as glucose}}{\text{Total carbohydrate}} \right) \quad (4.3)$$

Sehingga DE mewakili persentase hidrolisa ikatan glikosidik. Glukosa murni memiliki DE 100, maltose murni memiliki DE 50 (tergantung dari metode analitik yang digunakan). Selama hidrolisa starch, DE mengindikasikan, sejauh mana starch telah dipecah. Proses hidrolisa asam telah lama digunakan dalam proses pembuatan sirup glukosa maupun glukosa kristal (dextrose

sama dengan DH pada proses proteolysis untuk mendeskripsikan produknya, dimana

persentase gula yang tereduksi per karbohidrat total

monohydrate). Hidrolisa asam pada proses pembuatan sirup glukosa hanya dilakukan hingga DE 42, karena pada DE yang lebih tinggi, warna produk tidak sesuai lagi. Proses hidrolisa asam merupakan proses acak yang tampaknya tidak dipengaruhi oleh adanya ikatan  $\alpha$ -1,6-glucosidic.

**Tabel 5.** Enzyme yang digunakan dalam proses hidrolisa starch

| Enzyme                          | sumber                                  | Aksi  |
|---------------------------------|---|---|
| $\alpha$ -Amylase               | <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>       | Hanya ikatan $\alpha$ -1,4-oligosaccharide yang dipecah untuk menghasilkan $\alpha$ -dextrins, maltose dan oligosaccharides yang lain |
|                                 | <i>B. licheniformis</i>                 | Hanya ikatan $\alpha$ -1,4-oligosaccharide yang dipecah untuk menghasilkan $\alpha$ -dextrins, maltose dan oligosaccharides yang lain |
|                                 | <i>A. oryzae, A. niger</i>              | Hanya ikatan $\alpha$ -1,4-oligosaccharide yang dipecah untuk menghasilkan $\alpha$ -dextrins, maltose dan oligosaccharides yang lain |
| Saccharifying $\alpha$ -amylase | <i>B. subtilis (amylosacchariticus)</i> | Hanya ikatan $\alpha$ -1,4-oligosaccharide yang dipecah untuk menghasilkan $\alpha$ -dextrins, maltose (50% w/w glukosa)              |
| $\alpha$ -Amylase               | Malted barley                           | Hanya ikatan $\alpha$ -1,4-links yang dipecah, guna menghasilkan $\alpha$ -dextrins, maltose  |
| Glucoamylase                    | <i>A. niger</i>                         | Ikatan $\alpha$ -1,4 $\alpha$ -1,6-di-pecah untuk menghasilkan $\alpha$ -glucose  |
| Pullulanase                     | <i>B. acidopullulyticus</i>             | Hanya ikatan $\alpha$ -1,6-links dipecah untuk menghasilkan maltodextrins rantai lurus  |

$\alpha$ -amylases (1,4- $\alpha$ -D-glucan glucanohydrolases) adalah suatu endohydrolases yang memecah ikatan 1,4- $\alpha$ -D-glucosidic dan dapat membypass bypass ikatan 1,6- $\alpha$ -D-glucosidic tetapi tidak dapat menghidrolisa ikatan 1,6- $\alpha$ -D-glucosidic. Enzyme komersial yang digunakan untuk hidrolisa starch pada berbagai industri diproduksi oleh *Bacillus amyloliquefaciens* dan oleh *B. licheniformis* (disuplai oleh Novo Industri A/S sebagai Termamyl). Kedua enzyme tersebut memiliki toleransi yang berbeda terhadap temperatur. Termamyl dapat beraktivitas lebih tinggi bila

dibandingkan dengan *B. amyloliquefaciens*  $\alpha$ -amylase yakni hingga suhu 110°C. DE maksimum yang diperoleh dengan menggunakan  $\alpha$ -amylases adalah sekitar 40. Proses liquifikasi yang terlalu lama akan menyebabkan terbentuknya maltulose (4- $\alpha$ -D-glucopyranosyl-D-fructose), senyawa yang tidak akan terhidrolisa oleh glucoamylase dan  $\alpha$ -amylases. Pada proses komersial, DE antara 8-12 biasa diterapkan untuk proses sacharifikasi selanjutnya. Prinsip mendasar yang diperlukan dari proses liquifikasi adalah untuk mengurangi viskositas starch yang

telah digelatinisasi untuk mempermudah proses selanjutnya.

Beberapa industri mengaplikasikan proses liquifikasi yang berbeda-beda menggunakan  $\alpha$ -amylase tetapi pada prinsipnya sama. Granul starch dibuat slurry pada 30-40%w/w dengan menggunakan air dingin pada pH 6.0-6.5, yang mengandung  $\text{Ca}^{2+}$  20-80 ppm (ion yang akan menstabilkan dan mengaktifkan enzyme) dan enzyme ditambahkan melalui metering pump.  $\alpha$ -amylase biasanya disuplai pada aktivitas yang tinggi sehingga dosis enzyme hanya sekitar 0.5-0.6 kg  $\text{tonne}^{-1}$  (sekitar 1500 U  $\text{kg}^{-1}$  berat kering). Ketika Termamyl digunakan starch slurry serta enzyme dipompa secara kontinyu melalui jet cooker, yang dipanaskan hingga 105°C menggunakan uap panas. Proses gelatinisasi akan segera terjadi, setelahnya enzyme akan segera aktif melakukan proses hidrolisa. Waktu tinggal didalam jet cooker sangat cepat, sebagian starch yang telah menjadi gelatin dilewatkan kedalam pipa yang bersuhu 100-105°C dan dijaga selama 5 menit untuk menyelesaikan proses gelatinisasi. Hidrolisa hingga DE tertentu yang diinginkan dilakukan pada tangki yang bersuhu 90-100°C selama 1 hingga 2 jam. Tangki tersebut dilengkapi dengan baffles untuk memberikan pengadukan terhadap starch. Proses yang hampir sama dapat dilakukan dengan menggunakan *B. amyloliquefaciens*  $\alpha$ -amylase, tetapi suhunya dijaga tidak melebihi 95°C.

Starch yang telah diliquifikasi biasanya di saccharifikasi, tetapi sebagian kecil di keringkan dengan spray dryer guna mendapatkan maltodextrin yang dibutuhkan dalam industri makanan terutama sebagai *bulking agent* serta digunakan dalam industri makanan bayi. Pada proses ini, aktivitas enzyme yang tertinggal dihilangkan dengan menurunkan pH pada akhir proses pemanasan. Fungi  $\alpha$ -amylase juga digunakan dalam industri makanan.

#### Enzim

Enzim atau disebut juga ferment merupakan suatu golongan biologis yang sangat penting dari

protein. Enzim disebut biokatalisator karena semua perombakan zat makanan dalam organisme hanya dapat terjadi jika didalamnya terdapat enzim. Zat-zat yang diuraikan oleh enzim digolongkan sebagai substrat. Fungsi enzim pada umumnya dapat merombak sesuatu zat dalam bentuk yang lebih kecil untuk kemudian diuraikan menjadi zat-zat yang siap diresorpsi.

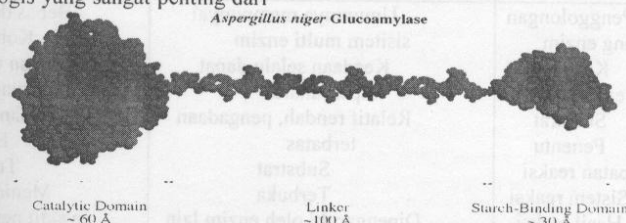
Enzim dapat diklasifikasikan atas beberapa, antara lain:

1. Esterase: pancreatic lipase, liver esterase, ricinus lipase, chlorophyllase, phosphatases, azolesterase.
2. Proteinase dan peptidase: pepsin, trypsin, arepsin, rennin, papain, bromelin, cathepsin, ficin, aminopeptidase, carboxypeptidase, dipeptidase.
3. Amidase: urease, arginase, purine amidase.
4. Karbohidrase: sucrase, emulsin, amylase.
5. Oxidase: dehydrogenase, catalase, peroxidase, tyrosinase, laccase, indophenol oxidase, uricase, luciferase.

Enzyme yang berperan dalam proses hidrolisa starch menjadi glukosa adalah glucoamylase. Glucoamylase dikenal juga dengan nama amyloglucosidase, enzyme tersebut merupakan salah satu enzyme penting yang digunakan dalam industri sacharifikasi baik pada konversi starch secara enzimatis maupun dalam proses produksi alkohol.

Domain pada Glucoamylase yang dihasilkan oleh *Aspergillus niger* dibagi menjadi tiga domain (gambar 3):

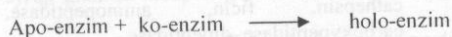
- Catalytic domain: mendegradasi aligosacharida dari ujung yang tidak tereduksi dan melepaskan glukosa
- Starch-binding domain: menjembatani enzyme dengan bahan baku serta dengan dinding sel
- Linker: perpanjangan rantai yang menghubungkan kedua domain.



Gambar 3. Domain pada *Aspergillus niger* glucoamylase

Jika suatu enzim mengalami perubahan dalam bentuknya, misalnya denaturasi (perusakan), maka struktur kimianya sebagai protein atau proteida akan mengalami perombakan. Daya katalitiknya menghilang, tetapi susunan rangkaian asam amino masih terdapat lengkap. Bagian enzim sebagai pembawa protein disebut apo-enzim dan yang bersifat katalitik disebut ko-enzim.

Dalam ko-enzim terdapat daya kerja yang spesifik. Suatu ko-enzim dapat mengkatalisi suatu substrat secara berulang kali. Karena enzim terdiri dari pembawa protein (koloidal) dan gugus prostetis atau ko-enzim, maka reaksi kimianya dapat ditulis sebagai berikut:



Ko-enzim sebagai golongan yang aktif secara kimiawi bersifat katalitik dan dapat diubah. Suatu katalisator tidak mengalami perubahan dalam reaksinya, tetapi pada biokatalisator terjadi perubahan, tetapi setelah itu terdapat reaksi yang sekunder dengan enzim kedua, sehingga keadaan semula dipulihkan kembali. Pembawa protein bertanggung jawab terhadap berlangsungnya daya komponen ko-enzim, yaitu pusat semua aktifitas dan ko-enzim tersebut merupakan organ pelaksana terjadinya perubahan-perubahan dalam metabolisme. Molekul-molekul yang mengalami perubahan ini adalah substrat. Protein (pembawa) menentukan molekul-molekul yang dapat bereaksi dengan ko-enzim sebagai partner reaksinya.

Aktifitas enzim tergantung pada:

1. Kadar (konsentrasi) dan jenis substrat  
Jika konsentrasi substrat kecil, maka reaksinya ditentukan oleh substratnya, sehingga tercapai keseimbangan antara kecepatan reaksi dan konsentrasi substrat. Tetapi jika substratnya dalam keadaan

berlebih, maka reaksinya tergantung pada jumlah enzim yang ada. Kecepatan reaksi enzim tidak tergantung pada konsentrasi substrat yang ada.

2. Temperatur  
Reaksi-reaksi enzim sangat tergantung pada temperatur. Temperatur optimum tergantung pula pada macamnya enzim, susunan cairan, dan lamanya percobaan. Pada umumnya setiap kenaikan 10 °C, kecepatan reaksi dapat meningkat menjadi 2 atau 3 kali lipat. Tetapi pada suhu diatas 50 °C, umumnya enzim mengalami kerusakan.
3. Konsentrasi ion-hidrogen (H<sup>+</sup>)  
pH optimum tergantung pada jenis enzim, jenis dan konsentrasi substrat yang dipakai serta syarat percobaan lainnya. Pada umumnya pH optimum untuk beberapa enzim adalah sekitar larutan netral atau asam lemah.
4. Pengaruh dari efektor  
Substansi-substansi yang mempertinggi aktifitas suatu enzim disebut aktivator dan yang menghambat disebut inhibitor. Tiap percobaan dengan enzim mempunyai aktivator dan inhibitor dalam jumlah dan macam yang berbeda.

Reaksi-reaksi in vitro (dalam tabung) berbeda dengan reaksi in vivo (hidup). Perbedaan tersebut dapat dilihat seperti pada tabel berikut:

Tabel 6. Reaksi in vitro dan in vivo

|                          | In vivo                              | In vitro                           |
|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Penggolongan ruang enzim | Umumnya mempunyai sistem multi enzim | Bebas dalam larutan                |
| Keadaan enzim            | Keadaan selalu dapat diperbaharui    | Konsentrasi permukaan ditentukan   |
| Substrat                 | Relatif rendah, pengadaan terbatas   | Relatif tinggi, kejenuhan substrat |
| Penentu kecepatan reaksi | Substrat                             | Enzim                              |
| Sistem reaksi            | Terbuka                              | Tertutup                           |
| Hasil reaksi             | Dipengaruhi oleh enzim lain          | Meningkat pada waktu percobaan     |

#### Kesimp

yang sa  
berpoten  
baku in  
menjadi  
enzimat  
pullulan  
konvers  
biaya  
mempe  
dihasil  
menjad  
yakni  
sacchar  
memec  
mengh  
bekerja  
mengh  
Berdas  
tinggi  
hidrol  
dari s



|            | In vivo         | In vitro        |
|------------|-----------------|-----------------|
| Temperatur | Sekitar 37 °C   | Sekitar 25 °C   |
| pH         | Sekitar 7       | Optimum         |
| Efektor    | Sangat variabel | Aktifitas penuh |

enzim glucoamylase dan pullulanase sangat berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

## Daftar Pustaka

- Flach, M, 1977, "Yield Potential of the Sago Palm, Metroxylon sagu, and its Realisation in Sago: Paper of the First International Sago Symposium" Kemajuan Kanji Sdn Bhd, Kuala Lumpur Malaysia
- Nardiman, 2004, "Potensi Sagu Indonesia", Suara Pembaharuan
- Ramachandran S, Fontanill.P, Pande. A, 2006, "Gluconic Acid: Properties, Applications and Microbial Production" Food Technol. Biotechnol. 44 (2) 185-195
- Znad, H.; Markos, J. And Bales, V. July 2004, "Production Of Gluconic Acid From Glucose By *Aspergillus Niger*: Growth And Non-Growth Conditions. "Process Biochemistry, vol. 39, no. 11, p. 1341-1345.