

## II. PEMILIHAN PROSES DAN URAIAN PROSES

### A. Jenis-jenis Proses

Pati atau amilum adalah karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berwujud bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Pati merupakan bahan utama yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai produk fotosintesis) dalam jangka panjang (Kimball, 1983)

Sirup maltosa atau sering juga disebut gula cair mengandung D-glukosa, dan polimer D-glukosa yang dibuat melalui proses hidrolisis pati. Proses hidrolisis pati menjadi sirup glukosa dapat dengan berbagai metoda, misalnya secara enzimatik, kimiawi, maupun kombinasi keduanya, menggunakan katalis enzim, asam atau gabungan keduanya. (Triyono, 2008)

Pembuatan maltosa dapat menggunakan dua cara, yaitu:

- a. Hidrolisis pati menggunakan asam
- b. Hidrolisis pati menggunakan enzim

Hidrolisis secara enzimatik memiliki perbedaan mendasar dengan hidrolisis secara asam. Hidrolisis secara asam memutus rantai pati secara acak,

sedangkan hidrolisis secara enzimatis memutus rantai pati secara spesifik pada percabangan tertentu (Triyono, 2008)

### **1. Hidrolisis pati menggunakan asam**

Hidrolisis asam merupakan proses pemecahan pati secara acak yang tidak dipengaruhi oleh keberadaan ikatan  $\alpha$ -1,6-D-glukosidik. Menurut Wurzburg (1986), hidrolisis dengan asam akan lebih sensitif pada ikatan  $\alpha$ -1,4-D-glukosidik dibanding ikatan  $\alpha$ -1,6-D-glukosidik. Namun struktur linier dengan ikatan  $\alpha$ -(1,4) terdapat pada bagian kristalin, bagian ini tersusun sangat rapat sehingga sangat sukar dimasuki air dan atau asam, akibatnya akan lebih tahan terhadap 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.

Proses hidrolisa asam menggunakan senyawa asam sebagai katalis, baik asam lemah maupun asam kuat. Secara umum hidrolisis asam encer terdiri dari dua tahap. Pada tahap pertama sebagian besar pati akan terhidrolisis menjadi maltosa. Tahap kedua dioptimasi untuk menghidrolisis maltosa sehingga menghasilkan glukosa. Jenis asam encer yang biasanya digunakan untuk hidrolisis ini adalah HCl encer. Kelemahan dari hidrolisis asam encer adalah degradasi gula hasil di dalam reaksi hidrolisis dan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan.

Proses hidrolisis dengan asam encer memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi recovery gula, yaitu hanya sebesar 50%. Hal ini dikarenakan pada proses degradasi gula terjadi pembentukan produk yang tidak diinginkan seperti furfural yang merupakan bahan kimia yang digunakan dalam industri plastik. Furfural ini dapat mematikan mikroorganisme yang melakukan proses fermentasi. Keuntungan utama penggunaan asam encer adalah reaksinya yang cepat sehingga mempercepat proses berikutnya, sedangkan kerugiannya yaitu hasil gula yang diperoleh sedikit (Badger 2002).

Degradasi gula dan produk samping ini tidak hanya akan mengurangi hasil produksi glukosa. Beberapa senyawa inhibitor yang dapat terbentuk selama proses hidrolisis asam encer adalah furfural, 5-hydroxymethylfurfural (HMF), asam levulinik (levulinic acid), asam asetat (acetic acid), asam format (formic acid), asam uronat (uronic acid), asam 4-hydroxybenzoic, asam vanilik (vanilic acid), vanillin, phenol, cinnamaldehyde, formaldehida (formaldehyde), dan beberapa senyawa lain (Tahezadeh & Karimi, 2007).

Proses hidrolisis asam pekat (concentrated acid hydrolysis), meliputi proses dekrystalisasi pati dengan asam pekat (Misalnya HCl) dan dilanjutkan dengan hidrolisis pati dengan asam encer. Tantangan utama dari teknologi ini adalah pemisahan gula dengan asam, recovery asam, dan rekonsentrasi asam (Scheper, 2007).

## 2. Hidrolisis pati menggunakan enzim

Alfa amilase banyak dimanfaatkan untuk industri gula cair seperti glukosa, maltosa, dekstroza, alkohol, dan proses biokonversi pati menjadi monomernya. Alfa amilase umumnya digunakan pada tahap likuifikasi pati pada proses pembuatan gula cair. Proses likuifikasi berlangsung pada suhu sekitar 90°C sehingga  $\alpha$ -amilase termostabil sangat tepat untuk proses ini. (Lestari, 2001)

Amilase terdiri dari 3 jenis, yaitu  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase, dan glukoamilase. Enzim  $\alpha$ -amilase bekerja dengan memecah ikatan  $\alpha$ -1,4 glikosidik pada rantai lurus amilum sehingga menghasilkan glukosa dalam konfigurasi alfa, maltosa dan dekstrin. Enzim  $\beta$ -amilase bekerja dengan memecah ikatan  $\alpha$ -1,4 glikosidik dan tidak mampu melewati ikatan percabangan  $\alpha$ -1,6 glikosidik sehingga menghasilkan maltosa dengan konfigurasi beta. Enzim glukoamilase bekerja dengan menghidrolisis ikatan  $\alpha$ -1,4 dan  $\alpha$ -1,6 glikosidik dari gugus non pereduksi sehingga menghasilkan D-glukosa (Jayanti, 2011)

Karbohidrat sebagai bahan persediaan makanan dirombak oleh enzim alfa-amilase dan beta-amilase yang bekerja saling mengisi. Alfa-amilase memecah pati menjadi glukosa, sedangkan beta-amilase memecah pati menjadi maltosa. Pada akhirnya, maltosa akan diubah menjadi glukosa dan fruktosa. Proses pembuatan maltosa dapat dilakukan melalui proses

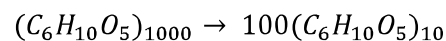
hidrolisa enzimatik dengan menggunakan bantuan enzim  $\beta$  amilase. (Lugraha, *et. al.*, 2008)

Pada proses hidrolisis pati, terdapat tiga tahapan dalam mengkonversi pati yaitu tahap gelatinisasi, likuifikasi dan sakarifikasi. Tahap gelatinisasi merupakan tahap pembentukan suspensi kental dari butir pati, tahap likuifikasi yaitu hidrolisis pati parsial yang ditandai dengan menurunnya viskositas, sedangkan sakarifikasi merupakan proses lebih lanjut dari hidrolisis untuk menghasilkan glukosa (Shi, *et. al.*, 2000).

Proses pembuatan maltosa dengan menggunakan metode Hidrolisis Enzim melalui beberapa tahapan reaksi :

a. Tahapan Likuifaksi

Tahap likuifaksi adalah proses pencairan gel pati dengan enzim  $\alpha$ -amilase. Tujuan dari proses ini adalah untuk melarutkan pati secara sempurna, mencegah isomerisasi gugus pereduksi dari dekstrosa dan mempermudah kerja enzim  $\alpha$ -amilase untuk menghidrolisis pati menjadi bentuk gula-gula sederhana (Judoamidjojo, 1992). Adapun reaksinya sebagai berikut:



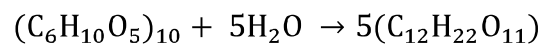
Pati

Dekstrin

Pada tahap likuifikasi temperatur yang digunakan adalah sebesar 85°C dan waktu reaksi berlangsung selama 2 jam untuk menghasilkan dekstrin dengan kualitas baik.

b. Tahapan Sakarifikasi

Proses ini merupakan proses hidrolisis II dengan menggunakan enzim  $\beta$ -amilase untuk mengkonversi dekstrin menjadi maltosa.



Dekstrin      Air              Maltosa

(US. Patent, 16 Juni 2014 Pukul 14.47)

## B. Pemilihan Proses

Young-Jung Wee mengatakan sangat menguntungkan bila bahan baku mempunyai kriteria :

- Murah
- Tingkat kontaminasi untuk bakteri rendah
- Produk yang dihasilkan banyak
- Sedikit atau tidak mengandung produk samping
- Dapat difermentasi tanpa melakukan perlakuan awal bila menggunakan enzim
- Dapat beroperasi sepanjang tahun dalam jumlah besar

Dalam pemilihan proses untuk merancang pabrik, maka diperlukan perhitungan ekonomi dan perhitungan panas reaksi untuk menjadi pertimbangan.

### 1. Perhitungan Ekonomi Kasar

Perbandingan kandungan pati yang terdapat dalam bahan baku untuk menghasilkan sirup maltosa sebagaimana tertera pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan Kandungan Pati dalam Bahan Baku

No	Bahan Baku	Kandungan Pati (%)
1	Jagung	69,3
2	Bulir Jagung	70
3	Tepung Jagung	73
4	Singkong	80
5	Tapioka	86

[http://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=kandungan%20pati%20pada%20tepung%20jagung&source=web&cd=7&cad=rja&ved=0CEQQFjAG&url=http%3A%2F%2Fbp3m.uksw.edu%2Fuploads%2Fdocuments%2Fcontoh-2.doc&ei=RmKjULrMLArSrAeCOYHYCQ&usq=AFQjCNFZmtwrB69JSsImd\\_aDHOomLf-gag](http://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=kandungan%20pati%20pada%20tepung%20jagung&source=web&cd=7&cad=rja&ved=0CEQQFjAG&url=http%3A%2F%2Fbp3m.uksw.edu%2Fuploads%2Fdocuments%2Fcontoh-2.doc&ei=RmKjULrMLArSrAeCOYHYCQ&usq=AFQjCNFZmtwrB69JSsImd_aDHOomLf-gag)  
<http://www.djarumbeasiswaplus.org/artikel/content/22/Pemanfaatan-Pati-Manihot-Utilissima-sebagai-Bahan-Baku-Edible-Film/>  
<http://id.scribd.com/doc/60296368/18/Kandungan-Nutrisi-pada-Tepung-Tapioka>

Tabel 2.2. Harga Katalis dan Produk

No	BM	Nama	Senyawa	Rp/Unit
1	36,47	Asam Klorida	HCl	1008/Kg
2		$\alpha$ -amilase		19.374/Kg
3		$\beta$ -amilase		41.650/Kg
4	342	Maltosa	$C_{12}H_{22}O_{11}$	11.000/Kg

- a. Perhitungan ekonomi kasar hidrolisis Singkong menjadi Maltosa menggunakan Enzim  $\alpha$ -amilase dan  $\beta$ -amilase

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Produksi Maltosa} &= 50.000 \text{ ton/tahun} \\ &= 6.313,13 \text{ kg/jam} \\ &= 18,459 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

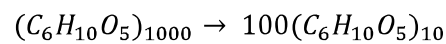
$$\text{Kandungan Pati dalam Singkong} = 80 \%$$

$$\text{Konversi Pati menjadi Dekstrin} = 95,14\% \text{ (Zusfahair, 2012)}$$

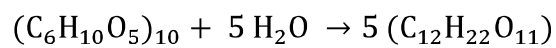
$$\text{Konversi Dekstrin menjadi Maltosa} = 98\% \text{ (Patent US1988/4780149)}$$

- Jumlah Pati yang dibutuhkan;

Reaksi Likuifikasi



	Pati		Dekstrin
	$m_{A0}$		-
	$-m_{A0} \cdot X$		$100m_{A0} \cdot X$
	$m_{A0}(1-X)$		$100m_{A0} \cdot X$
	$m_A$		$m_B$



		Dekstrin	Air	Maltosa
Mula-mula :	$m_B$	$m_{C0}$	-	
Reaksi :	$-m_B \cdot X'$	$-5 m_B \cdot X'$	$+5 m_B \cdot X'$	
Sisa :	$m_B(1-X')$	$m_{C0} - 5m_B \cdot X'$	$5m_B \cdot X'$	
	$m_B'$	$m_C$	$m_D$	

$$\text{Produk} = m_D = 5m_B X'$$



Dimana,

$$m_B = 100m_{A0}X$$

Jadi,

$$m_D = 5(100m_{A0}X)X'$$

$$m_D = 500m_{A0}XX'$$

$$m_{A0} = \frac{m_D}{(500XX')}$$

$$m_{A0} = \frac{18,459}{(500 \times 0,9514 \times 0,98)}$$

$$m_{A0} = 0,0396 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Pati yang dibutuhkan} = 0,0396 \text{ kmol/jam} \times 162000$$

$$= 6414,67 \text{ kg/jam}$$

- Jumlah Singkong yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah Singkong} = \frac{100}{X} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\text{Jumlah Singkong} = \frac{100}{80} \times 6414,67 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} = 8018,34 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

- Jumlah Enzim  $\alpha$ -amilase (EA) yang dibutuhkan pada proses likuifikasi;

$$\text{Banyaknya EA yang dibutuhkan} = 0,6 \text{ kg/ton pati}$$

$$\text{Jumlah Pati yang masuk} = 6414,67 \text{ kg/jam}$$

$$EA = \text{Banyaknya EA} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$EA = 0,6/1000 \times 6414,67 = 3,85 \text{ kg/jam}$$

- Jumlah Enzim  $\beta$ -amilase (EB) yang dibutuhkan pada proses sakarifikasi;

$$\text{Banyaknya EB yang dibutuhkan} = 0,6 \text{ kg/ton pati}$$

Jumlah Dekstrin yang masuk = 6102,92 kg/jam

$EB = \text{Banyaknya } EB \times \text{Jumlah Pati}$

$EA = 0,6/1000 \times 6102,92 \text{ kg/jam} = 3,66 \text{ kg/jam}$

### Pengeluaran

Komponen	Massa (kg/jam)	Harga (Rp/kg)	Biaya (Rp/jam)
Singkong	8018,34	1.900,00	15.234.847,74
$\alpha$ -amilase	3,85	19.374,00	74.566,72
$\beta$ -amilase	3,66	46.150,00	152.511,96
<b>Total</b>	<b>8.025,85</b>	<b>62.924,00</b>	<b>15.461.926,42</b>

### Pemasukan

Komponen	Massa (kg/jam)	Biaya (Rp/kg)	Biaya (Rp/jam)
<b>Maltosa</b>	<b>6.313,13</b>	<b>11.000,00</b>	<b>69.444.444,44</b>

**Biaya Produksi = Rp. 15.461.926,42**

**Biaya Produksi/Kg = Rp. 2.449,17**

**Penjualan/Kg = Rp. 11.000,00**

**Keuntungan = Rp. 53.982.518,02**

**Keuntungan/Kg = Rp. 8.550,83**

- b. Perhitungan ekonomi kasar hidrolisis tapioka menjadi Maltosa menggunakan Enzim  $\alpha$ -amilase dan  $\beta$ -amilase

Kapasitas Produksi Maltosa = 50.000 ton/tahun

= 6.313,13 kg/jam

= 18,46 kmol/jam

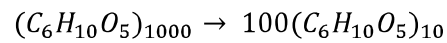
Kandungan Pati dalam Tapioka = 86 %

Konversi Pati menjadi Dekstrin = 95,14 % (Zusfahair, 2012)

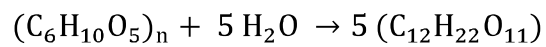
Konversi Dekstrin menjadi Maltosa = 98% (Patent US1988/4780149)

- Jumlah Pati yang dibutuhkan;

Reaksi Likuifikasi



Pati	Dekstrin
$m_{A0}$	-
$-m_{A0} \cdot X$	$100m_{A0} \cdot X$
$m_{A0}(1-X)$	$100m_{A0} \cdot X$
$m_A$	$m_B$



	Dekstrin	Air	Maltosa
Mula-mula :	$m_B$	$m_{C0}$	-
Reaksi :	$-m_B \cdot X'$	$-5 m_B \cdot X'$	$+5 m_B \cdot X'$
Sisa :	$m_B(1-X')$	$m_{C0} - 5m_B \cdot X'$	$5m_B \cdot X'$
	$m_B'$	$m_C$	$m_D$

$$Produk = m_D = 5m_B X'$$

Dimana,

$$m_B = 100m_{A0}X$$

Jadi,

$$m_D = 5(100m_{A0}X)X'$$

$$m_D = 500m_{A0}XX'$$

$$m_{A0} = \frac{m_D}{(500XX')}$$

$$m_{A0} = \frac{18,46}{(500 \times 0,9514 \times 0,7)}$$

$$m_{A0} = 0,0396 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Pati yang dibutuhkan} &= 0,0396 \text{ kmol/jam} \times 162000 \\ &= 6414,67 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Jumlah Tapioka yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah Tapioka} = \frac{100}{X} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\text{Jumlah Tapioka} = \frac{100}{86} \times 6414,67 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} = 7458,92 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

- Jumlah Enzim  $\alpha$ -amilase (EA) yang dibutuhkan pada proses likuifikasi;

$$\text{Banyaknya EA yang dibutuhkan} = 0,6 \text{ kg/ton pati}$$

$$\text{Jumlah Pati yang masuk} = 6414,67 \text{ kg/jam}$$

$$EA = \text{Banyaknya EA} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$EA = 0,6/1000 \times 6414,67 = 3,85 \text{ kg/jam}$$

- Jumlah Enzim  $\beta$ -amilase (EB) yang dibutuhkan pada proses sakarifikasi;

$$\text{Banyaknya EB yang dibutuhkan} = 0,6 \text{ kg/ton pati}$$

$$\text{Jumlah Dekstrin yang masuk} = 6102,92 \text{ kg/jam}$$

$$EB = \text{Banyaknya EB} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$EA = 0,6/1000 \times 6102,92 \text{ kg/jam} = 3,66 \text{ kg/jam}$$

**Pengeluaran**

<b>Komponen</b>	<b>Massa (kg/jam)</b>	<b>Harga (Rp/kg)</b>	<b>Biaya (Rp/jam)</b>
Tapioka	7458,92	4.300,00	32.073.363,66
$\alpha$ -amilase	3,85	19.374,00	74.566,72
$\beta$ -amilase	3,66	46.150,00	152.511,96
<b>Total</b>	<b>7.466,43</b>	<b>65.324,00</b>	<b>32.300.442,34</b>

**Pemasukan**

<b>Komponen</b>	<b>Massa (kg/jam)</b>	<b>Biaya (Rp/kg)</b>	<b>Biaya (Rp/jam)</b>
<b>Maltosa</b>	<b>6.313,13</b>	<b>11.000,00</b>	<b>69.444.444,44</b>

**Biaya Produksi = Rp. 32.400.442,34**

**Biaya Produksi/Kg = Rp. 5.116,39**

**Penjualan/Kg = Rp. 11.000,00**

**Keuntungan = Rp. 37.144.002,10**

**Keuntungan/Kg = Rp. 5.883,61**

- c. Perhitungan ekonomi kasar hidrolisis singkong menjadi Maltosa menggunakan Asam Klorida

Kapasitas Produksi Maltosa = 50.000 ton/tahun

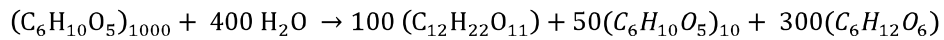
= 6.313,13 kg/jam

= 18,46 kmol/jam

Kandungan Pati dalam Singkong = 80%

Konversi Pati menjadi Maltosa = 57%

- Jumlah Pati yang dibutuhkan;



	Dekstrin	Air	Maltosa	Dekstrin	Dekstrosa
M :	$m_{A0}$	$m_{B0}$	-	-	-
R :	$-m_{A0} \cdot X$	$-400 m_{A0} \cdot X$	$+100 m_{A0} \cdot X$	$+50 m_{A0} \cdot X$	$+300 m_{A0} \cdot X$
S :	$m_{A0}(1-X)$	$m_{B0}-400m_{A0} \cdot X$	$100m_{A0} \cdot X$	$50 m_{A0} \cdot X$	$300m_{A0} \cdot X$
	$m_A$	$m_B$	$m_C$	$m_D$	$m_E$

$$Produk = m_C = 100m_{A0}X$$

Jadi,

$$m_{A0} = \frac{m_C}{(100X)}$$

$$m_{A0} = \frac{18,46}{(100 \times 0,57)}$$

$$m_{A0} = 0,324 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Pati yang dibutuhkan} &= 0,324 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \times 162000 \\ &= 52.463,69 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Jumlah Singkong yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah Singkong} = \frac{100}{X} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\text{Jumlah Singkong} = \frac{100}{80} \times 52.463,69 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} = 65.579,62 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

- Jumlah Asam Klorida yang dibutuhkan

Untuk menghidrolisis pati menjadi Maltosa, dibutuhkan:

$$HCl = 0,5M$$

$$\text{Kebutuhan} = 2 \text{ L/Kg Pati}$$

$$HCl \text{ yang dibutuhkan} = \text{Kebutuhan} \times \text{Jumlah Pati}$$

*HCl yang dibutuhkan = 2 L/Kg Pati × 52.463,69kg/jam*

$$= 104.927,39 \text{ Liter}$$

$\rho \text{ HCl} = 1,183 \text{ Kg/L}$

BM HCl = 36,5

Dengan Kadar 37%

$M_1 = 11,99 \text{ M}$

$M_2 = 0,5 \text{ M}$

Pengenceran

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{M_2 \times V_2}{M_1} = \frac{0,5 \times 104.927,39}{11,99} = 4374,87 \text{ Liter}$$

*HCl 37% yang dibutuhkan = 4.374,87 L × 1,183 Kg/L*

$$= 5.175,47 \text{ Kg}$$

### **Pengeluaran**

<b>Komponen</b>	<b>Massa (kg/jam)</b>	<b>Harga (Rp/kg)</b>	<b>Biaya (Rp/jam)</b>
Singkong	65.597,62	1.900,00	124.601.275,90
HCl	5.175,47	1.008,00	5.216.876,41
<b>Total</b>	<b>70.755,09</b>	<b>2.908,00</b>	<b>129.818.152,31</b>

### **Pemasukan**

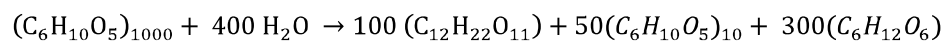
<b>Komponen</b>	<b>Massa (kg/jam)</b>	<b>Biaya (Rp/kg)</b>	<b>Biaya (Rp/jam)</b>
Maltosa	6.313,13	11.000,00	69.444.444,44
Dekstrosa	3.322,70	8.280,00	27.511.961,72
<b>Total</b>	<b>9.635,83</b>	<b>19.280,00</b>	<b>96.956.406,17</b>

<b>Biaya Produksi</b>	<b>= Rp. 129.818.152,31</b>
<b>Biaya Produksi/Kg</b>	<b>= Rp. 13.472,44</b>
<b>Penjualan/Kg</b>	<b>= Rp. 10.062,07</b>
<b>Keuntungan</b>	<b>= Rp. -32.861.746,16</b>
<b>Keuntungan/Kg</b>	<b>= Rp. -3.410,37</b>

d. Perhitungan ekonomi kasar hidrolisis tapioka menjadi Maltosa menggunakan Asam Klorida

Kapasitas Produksi Maltosa	= 50.000 ton/tahun
	= 6.313,13 kg/jam
	= 18,46 kmol/jam
Kandungan Pati dalam Singkong	= 80%
Konversi Pati menjadi Maltosa	= 57%

- Jumlah Pati yang dibutuhkan;



	Dekstrin	Air	Maltosa	Dekstrin	Dekstrosa
M :	$m_{A0}$	$m_{B0}$	-	-	-
R :	$-m_{A0} \cdot X$	$-400 m_{A0} \cdot X$	$+100 m_{A0} \cdot X$	$+50 m_{A0} \cdot X$	$+300 m_{A0} \cdot X$
S :	$m_{A0}(1-X)$	$m_{B0} - 400 m_{A0} \cdot X$	$100 m_{A0} \cdot X$	$50 m_{A0} \cdot X$	$300 m_{A0} \cdot X$
	$m_A$	$m_B$	$m_C$	$m_D$	$m_E$

$$Produk = m_C = 100 m_{A0} X$$

Jadi,

$$m_{A0} = \frac{m_C}{(100X)}$$



$$m_{A0} = \frac{18,46}{(100 \times 0,57)}$$

$$m_{A0} = 0,324 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Pati yang dibutuhkan} &= 0,324 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \times 162000 \\ &= 52.463,69 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Jumlah Tapioka yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah Tapioka} = \frac{100}{X} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\text{Jumlah Tapioka} = \frac{100}{86} \times 52.463,69 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} = 61.004,30 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

- Jumlah Asam Klorida yang dibutuhkan

Untuk menghidrolisis pati menjadi Maltosa, dibutuhkan:

$$\text{HCl} = 0,5\text{M}$$

$$\text{Kebutuhan} = 2 \text{ L/Kg Pati}$$

$$\text{HCl yang dibutuhkan} = \text{Kebutuhan} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl yang dibutuhkan} &= 2 \text{ L/Kg Pati} \times 52.463,69 \text{ kg/jam} \\ &= 104.927,39 \text{ Liter} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ HCl} = 1,183 \text{ Kg/L}$$

$$\text{BM HCl} = 36,5$$

Dengan Kadar 37%

$$M_1 = 11,99 \text{ M}$$

$$M_2 = 0,5 \text{ M}$$

Pengenceran

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{M_2 \times V_2}{M_1} = \frac{0,5 \times 104.927,39}{11,99} = 4374,87 \text{ Liter}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl } 37\% \text{ yang dibutuhkan} &= 4.374,87 \text{ L} \times 1,183 \text{ Kg/L} \\ &= 5.175,47 \text{ Kg} \end{aligned}$$

### Pengeluaran

Komponen	Massa (kg/jam)	Harga (Rp/kg)	Biaya (Rp/jam)
Tapioka	61.004,30	4.300,00	335.523.631,64
HCl	5.175,48	1.008,00	5.216.876,41
<b>Total</b>	<b>66.179,77</b>	<b>5.308,00</b>	<b>267.535.352,05</b>

### Pemasukan

Komponen	Massa (kg/jam)	Biaya (Rp/kg)	Biaya (Rp/jam)
Maltosa	6.313,13	11.000,00	69.444.444,44
Dekstrosa	3.322,70	8.280,00	27.511.961,72
<b>Total</b>	<b>9.635,83</b>	<b>19.280,00</b>	<b>96.956.406,17</b>

**Biaya Produksi = Rp. 267.535.352,05**

**Biaya Produksi/Kg = Rp. 27.764,63**

**Penjualan/Kg = Rp. 10.062,07**

**Keuntungan = Rp. -170.578.945,86**

**Keuntungan/Kg = Rp. -17.702,57**

- e. Perhitungan ekonomi kasar hidrolisis singkong menjadi Maltosa menggunakan Asam Klorida dan Enzim  $\beta$ -amilase

Kapasitas Produksi Maltosa = 50.000 ton/tahun

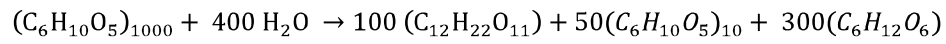
= 6.313,13 kg/jam

= 18,46 kmol/jam

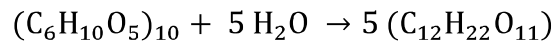
Kandungan Pati dalam Singkong = 80%

Konversi Pati menjadi Maltosa = 57%

- Jumlah Pati yang dibutuhkan;



	Dekstrin	Air	Maltosa	Dekstrin	Dekstrosa
M :	$m_{A0}$	$m_{B0}$	-	-	-
R :	$-m_{A0} \cdot X$	$-400 m_{A0} \cdot X$	$+100 m_{A0} \cdot X$	$+50 m_{A0} \cdot X$	$+300 m_{A0} \cdot X$
S :	$m_{A0}(1-X)$	$m_{B0} - 400 m_{A0} \cdot X$	$100 m_{A0} \cdot X$	$50 m_{A0} \cdot X$	$300 m_{A0} \cdot X$
	$m_A$	$m_B$	$m_C$	$m_D$	$m_E$



	Dekstrin	Air	Maltosa
Mula-mula :	$m_D$	$m_{B0}$	-
Reaksi :	$-m_D \cdot X'$	$-5 m_D \cdot X'$	$+5 m_D \cdot X'$
Sisa :	$m_D(1-X')$	$m_{B0} - 5 m_D \cdot X'$	$5 m_D \cdot X'$
	$m_D'$	$m_B'$	$m_C'$

$$Produk = m_{CTotal} = m_c + m_c'$$

Jadi,

$$m_{CTotal} = 100 m_{A0} X + 5 m_D X'$$

$$m_{CTotal} = 100 m_{A0} X + 5(50 m_{A0} X) X'$$

$$m_{CTotal} = 100 m_{A0} X + 250 m_{A0} X X'$$

$$m_{CTotal} = m_{A0} X (100 + 250 X')$$

$$m_{A0} = \frac{m_{CTotal}}{X(100 + 250 X')}$$

$$m_{A0} = \frac{18,46}{0,24(100 + (250 \times 0,98))}$$

$$m_{A0} = 0,159 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Pati yang dibutuhkan} &= 0,159 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \times 162000 \\ &= 25.824,10 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Jumlah Singkong yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah Singkong} = \frac{100}{X} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\text{Jumlah Singkong} = \frac{100}{80} \times 25.824,10 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} = 32.280,12 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

- Jumlah Asam Klorida yang dibutuhkan

Untuk menghidrolisis pati menjadi Maltosa, dibutuhkan:

$$\text{HCl} = 0,5 \text{ M}$$

$$\text{Kebutuhan} = 2 \text{ L/Kg Pati}$$

$$\text{HCl yang dibutuhkan} = \text{Kebutuhan} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl yang dibutuhkan} &= 2 \text{ L/Kg Pati} \times 25.824,10 \text{ kg/jam} \\ &= 51.648,20 \text{ Liter} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ HCl} = 1,183 \text{ Kg/L}$$

$$\text{BM HCl} = 36,5$$

Dengan Kadar 37%

$$M_1 = 11,99 \text{ M}$$

$$M_2 = 0,5 \text{ M}$$

Pengenceran

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{M_2 \times V_2}{M_1} = \frac{0,5 \times 51.648,20}{11,99} = 2.153,43 \text{ Liter}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl } 37\% \text{ yang dibutuhkan} &= 2.153,43 \text{ L} \times 1,183 \text{ Kg/L} \\ &= 2.547,51 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Jumlah Enzim  $\beta$ -amilase (EB) yang dibutuhkan pada proses sakarifikasi;

$$\text{Banyaknya EB yang dibutuhkan} = 0,6 \text{ kg/ton pati}$$

$$\text{Jumlah Dekstrin yang masuk} = 3.098,89 \text{ kg/jam}$$

$$EB = \text{Banyaknya EB} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$EA = 0,6/1000 \times 3.098,89 \text{ kg/jam} = 1,86 \text{ kg/jam}$$

### Pengeluaran

Komponen	Massa (kg/jam)	Harga (Rp/kg)	Biaya (Rp/jam)
Singkong	32.280,12	1.900,00	61.332.234,26
HCl	2.547,51	1.008,00	2.567.892,53
$\beta$ -amilase	1,86	41.650,00	77.441,31
<b>Total</b>	<b>34.829,49</b>	<b>44.558,00</b>	<b>63.977.568,10</b>

### Pemasukan

Komponen	Massa (kg/jam)	Biaya (Rp/kg)	Biaya (Rp/jam)
Maltosa	6.313,13	11.000,00	69.444.444,44
Dekstroza	3.322,70	8.280,00	27.511.961,72
<b>Total</b>	<b>9.635,83</b>	<b>19.280,00</b>	<b>82.986.601,77</b>

$$\text{Biaya Produksi} = \text{Rp. } 63.977.568,10$$

$$\text{Biaya Produksi/Kg} = \text{Rp. } 8.048,85$$

$$\text{Penjualan/Kg} = \text{Rp. } 10.440,33$$

$$\text{Keuntungan} = \text{Rp. } 19.009.033,67$$

$$\text{Keuntungan/Kg} = \text{Rp. } 2.391,48$$

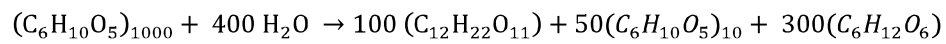
f. Perhitungan ekonomi kasar hidrolisis tapioka menjadi Maltosa menggunakan Asam Klorida dan Enzim  $\beta$ -amilase

Kapasitas Produksi Maltosa = 50.000 ton/tahun  
 = 6.313,13 kg/jam  
 = 18,46 kmol/jam

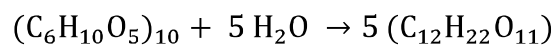
Kandungan Pati dalam Tapioka = 86%

Konversi Pati menjadi Maltosa = 57%

- Jumlah Pati yang dibutuhkan;



	Dekstrin	Air	Maltosa	Dekstrin	Dekstrosa
M :	$m_{A0}$	$m_{B0}$	-	-	-
R :	$-m_{A0} \cdot X$	$-400 m_{A0} \cdot X$	$+100 m_{A0} \cdot X$	$+50 m_{A0} \cdot X$	$+300 m_{A0} \cdot X$
S :	$m_{A0}(1-X)$	$m_{B0}-400m_{A0} \cdot X$	$100m_{A0} \cdot X$	$50 m_{A0} \cdot X$	$300m_{A0} \cdot X$
	$m_A$	$m_B$	$m_C$	$m_D$	$m_E$



	Dekstrin	Air	Maltosa
Mula-mula :	$m_D$	$m_{B0}$	-
Reaksi :	$-m_D \cdot X'$	$-5 m_D \cdot X'$	$+5 m_D \cdot X'$
Sisa :	$m_D(1-X')$	$m_{B0}-5m_D \cdot X'$	$5m_D \cdot X'$
	$m_D'$	$m_B'$	$m_C'$

$$Produk = m_{CTotal} = m_c + m_c'$$

Jadi,

$$m_{CTotal} = 100m_{A0}X + 5m_D X'$$

$$m_{CTotal} = 100m_{A0}X + 5(50m_{A0}X)X'$$

$$m_{CTotal} = 100m_{A0}X + 250m_{A0}XX'$$

$$m_{CTotal} = m_{A0}X(100 + 250X')$$

$$m_{A0} = \frac{m_{CTotal}}{X(100 + 250X')}$$

$$m_{A0} = \frac{18,46}{0,24(100 + (250 \times 0,98))}$$

$$m_{A0} = 0,159 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Pati yang dibutuhkan} &= 0,159 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \times 162000 \\ &= 25.824,10 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Jumlah Singkong yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah Singkong} = \frac{100}{X} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\text{Jumlah Singkong} = \frac{100}{86} \times 25.824,10 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} = 30.028,02 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

- Jumlah Asam Klorida yang dibutuhkan

Untuk menghidrolisis pati menjadi Maltosa, dibutuhkan:

$$\text{HCl} = 0,5 \text{ M}$$

$$\text{Kebutuhan} = 2 \text{ L/Kg Pati}$$

$$\text{HCl yang dibutuhkan} = \text{Kebutuhan} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl yang dibutuhkan} &= 2 \text{ L/Kg Pati} \times 25.824,10 \text{ kg/jam} \\ &= 51.648,20 \text{ Liter} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ HCl} = 1,183 \text{ Kg/L}$$

$$\text{BM HCl} = 36,5$$

Dengan Kadar 37%

$$M_1 = 11,99 \text{ M}$$

$$M_2 = 0,5 \text{ M}$$

Pengenceran

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{M_2 \times V_2}{M_1} = \frac{0,5 \times 51.648,20}{11,99} = 2.153,43 \text{ Liter}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl } 37\% \text{ yang dibutuhkan} &= 2.153,43 \text{ L} \times 1,183 \text{ Kg/L} \\ &= 2.547,51 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Jumlah Enzim  $\beta$ -amilase (EB) yang dibutuhkan pada proses sakarifikasi;

$$\text{Banyaknya EB yang dibutuhkan} = 0,6 \text{ kg/ton pati}$$

$$\text{Jumlah Dekstrin yang masuk} = 3.098,89 \text{ kg/jam}$$

$$EB = \text{Banyaknya EB} \times \text{Jumlah Pati}$$

$$EA = 0,6/1000 \times 3.098,89 \text{ kg/jam} = 1,86 \text{ kg/jam}$$

### Pengeluaran

Komponen	Massa (kg/jam)	Harga (Rp/kg)	Biaya (Rp/jam)
Tapioka	30.028,02	4.300,00	129.120.493,20
HCl	2.547,51	1.008,00	2.567.892,53
$\beta$ -amilase	1,86	41.650,00	77.441,31
<b>Total</b>	<b>32.577,39</b>	<b>46.958,00</b>	<b>131,765.827,04</b>

### Pemasukan

Komponen	Massa (kg/jam)	Biaya (Rp/kg)	Biaya (Rp/jam)
Maltosa	6.313,13	11.000,00	69.444.444,44
Dekstroza	3.322,70	8.280,00	27.511.961,72
<b>Total</b>	<b>9.635,83</b>	<b>19.280,00</b>	<b>82.986.601,77</b>



<b>Biaya Produksi</b>	<b>= Rp. 131.765.827,04</b>
<b>Biaya Produksi/Kg</b>	<b>= Rp. 16.577,12</b>
<b>Penjualan/Kg</b>	<b>= Rp. 10.440,33</b>
<b>Keuntungan</b>	<b>= Rp. -48.779.225,25</b>
<b>Keuntungan/Kg</b>	<b>= Rp. -6.136,79</b>

## 2. Perhitungan Panas Reaksi

Jika proses ditinjau dari panas reaksinya, yaitu dengan cara memperhitungkan nilai energi bebas Gibbs (kondisi reaksi) ( $\Delta G_R$ ) dan panas reaksi pembentukan (kondisi reaksi) ( $\Delta H_R$ ).

$$\Delta H_R = \Delta H_f + \int_{T_0}^T \Delta C_p \cdot dT$$

$$\Delta G_R = \Delta H_f - \frac{T}{T_0} (\Delta H_f - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

Bahan baku utama dan produk yang dihasilkan memiliki rumus molekul panjang dan memiliki beberapa gugus fungsi, sehingga untuk menghitung nilai energy bebas Gibbs standar ( $\Delta G^0$ ) dan panas reaksi pembentukan standar ( $\Delta H_f^0$ ) digunakan pendekatan rumus molekul yaitu dengan kontribusi gugus fungsi. Metode Joback pada Reid 1987 dapat digunakan untuk estimasi nilai  $\Delta G^0$  dan  $\Delta H_f^0$ . Kontribusi gugus fungsi yang terdapat pada reaksi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.3. Kontribusi Gugus Fungsi pada Pati ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>1000</sub>

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-CH <sub>2</sub> -	-26,8	-3,68	1000
-CH-	8,67	40,99	5000
-OH	-208,04	-189,2	3002
-O- (ring)	-138,16	-98,22	1000
-O- (nonring)	-132,22	-105	999

(Sumber : Reid, C., Ed.4<sup>th</sup>, 1987, hal. 155, Tabel 6.1)Tabel 2.4. Kontribusi Gugus Fungsi pada Dextrin ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>10</sub>

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-CH <sub>2</sub> -	-26,8	-3,68	10
-CH-	8,67	40,99	50
-OH	-208,04	-189,2	32
-O- (ring)	-138,16	-98,22	10
-O- (nonring)	-132,22	-105	9

(Sumber : Reid, C., Ed.4<sup>th</sup>, 1987, hal. 155, Tabel 6.1)Tabel 2.5. Kontribusi Gugus Fungsi pada Maltosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-CH <sub>2</sub> -	-26,8	-3,68	2
-CH-	8,67	40,99	10
-OH	-208,04	-189,2	8
-O- (ring)	-138,16	-98,22	2
-O- (nonring)	-132,22	-105	1

(Sumber : Reid, C., Ed.4<sup>th</sup>, 1987, hal. 155, Tabel 6.1)Tabel 2.6. Nilai  $\Delta H_f^0$  dan  $\Delta G^0$  pada H<sub>2</sub>O

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/kmol)	$\Delta G^0$ (kJ/kmol)
H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	-285,8	-237,13

(Sumber : Smith, J.M., Ed.6<sup>th</sup>, 2001, Appx. C4, Tabel C.4)

Kapasitas panas untuk pati, dextrin, dan maltosa dapat dihitung menggunakan pendekatan kontribusi gugus fungsional. Reid 1987 memberikan estimasi perhitungan kapasitas panas berdasarkan jumlah gugus fungsi yang terdapat pada suatu bahan untuk setiap temperatur

dengan Metode Missenard (Reid, C., Ed.4<sup>th</sup>, 1987, hal. 139, Tabel. 5.11).

Tabel 2.7. Kontribusi Gugus Metode Missenard

Gugus	Kapasitas Panas (J/mol K)				
	273 K	298 K	323 K	348 K	373 K
-CH <sub>2</sub> -	27,6	28,2	29,1	29,9	31,0
-CH-	23,8	24,9	25,7	26,6	28,0
-OH	33,5	43,9	52,3	61,7	71,1
-O- (ring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31,0
-O- (non ring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31,0

(Sumber : Reid, C., Ed.4<sup>th</sup>, 1987, hal. 139, Tabel. 5.11)

Berikut kontribusi gugus fungsi yang terdapat pada pati, dextrin, dan maltosa.

Tabel 2.8. Kontribusi Gugus Fungsi pada Pati, Dextrin, dan Maltosa

Gugus	Pati	Dextrin	Maltosa
-CH <sub>2</sub> -	1000	10	2
-CH-	5000	50	10
-OH	3002	32	8
-O- (ring)	1000	10	2
-O- (non ring)	999	9	1

Menghitung nilai  $\Delta H_f^0$  untuk pati, dextrin, dan maltosa.

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^0 (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{1000} &= (68.29 + \sum \Delta H_f^0 \text{ ikatan}) \text{ kJ/mol} \\
 &= [68.28 + ((1000 \times -26,8) + (5000 \times 8,67) \\
 &\quad + (3002 \times -208,04) + (1000 \times -138,16) \\
 &\quad + (999 \times -132,22))] \\
 &= -878.166 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^0 (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10} &= (68.29 + \sum \Delta H_f^0 \text{ ikatan}) \text{ kJ/mol} \\
 &= [68.28 + ((10 \times -26,8) + (50 \times 8,67) \\
 &\quad + (32 \times -208,04) + (10 \times -138,16) + (9 \times -132,22))]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -8.995,57 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_f^0 (\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) &= (68,29 + \sum \Delta H_f^0 \text{ ikatan}) \text{ kJ/mol} \\
 &= [68,28 + ((2 \times -26,8) + (10 \times 8,67) \\
 &\quad + (8 \times -208,04) + (2 \times -138,16) + (1 \times -132,22))] \\
 &= -1.971,48 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai energi bebas Gibbs standar ( $\Delta G^0$ ) untuk pati, dextrin, dan maltosa.

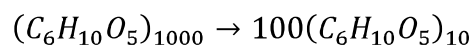
$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{1000} &= (53,88 + \sum G^0 \text{ ikatan}) \text{ kJ/mol} \\
 &= [53,88 + ((1000 \times -3,68) + (5000 \times 40,99) \\
 &\quad + (3002 \times -189,2) + (1000 \times -98,22) \\
 &\quad + (999 \times -105))] \\
 &= -569.770 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10} &= (53,88 + \sum G^0 \text{ ikatan}) \text{ kJ/mol} \\
 &= [53,88 + ((10 \times -3,68) + (50 \times 40,99) \\
 &\quad + (32 \times -189,2) + (10 \times -98,22) + (9 \times -105))] \\
 &= -5.915,02 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 (\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) &= (53,88 + \sum G^0 \text{ ikatan}) \text{ kJ/mol} \\
 &= [53,88 + ((2 \times -3,68) + (10 \times 40,99) \\
 &\quad + (8 \times -189,2) + (2 \times -98,22) + (1 \times -105))] \\
 &= -1.358,62 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

a. Reaksi dengan katalis enzim

Reaksi pertama, likuifikasi (temperatur  $85^\circ\text{C}$ )



Persamaan  $\Delta H_f^\circ$

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\circ &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= [100 \Delta H_f^\circ(C_6H_{10}O_5)_{10}] - [\Delta H_f^\circ(C_6H_{10}O_5)_{1000}] \\ &= [100 \times (-6.914,68)] - (-878.166) \\ &= 186.697,6 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$C_p$  untuk liquifikasi diperoleh dengan mengurangi jumlah kapasitas panas gugus fungsi produk terhadap reaktan.

$$\Delta C_p = \sum_j v_j C_{p_j}$$

$$\begin{aligned}\Delta C_p &= 100[(10 \times 30,34) + (50 \times 27,16) + (32 \times 65,46) + (10 \times 30,7) + (9 \times 30,7)] \\ &\quad - [(1000 \times 30,34) + (5000 \times 27,16) + (3002 \times 65,46) + (1000 \times 30,7) + \\ &\quad (999 \times 30,7)]\end{aligned}$$

$$\Delta C_p = (100 \times 4339,42) - 424020,22$$

$$\Delta C_p = 9921,78 \text{ J/mol K}$$

Sehingga  $\Delta H_R$  untuk liquifikasi ( $85^\circ\text{C}$  atau  $358,15 \text{ K}$ ) adalah

$$\Delta H_R = \Delta H_f + \int_{T_0}^T \Delta C_p \cdot dT$$

$$\begin{aligned}\Delta H_R &= -21.341,43 + (9921,78 \times (358,15 - 293,15)) \\ &= -20.746.123,2 \text{ J/mol} \\ &= -20.746,123 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Persamaan  $\Delta G^\circ$

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ &= \Delta G^\circ \text{ produk} - \Delta G^\circ \text{ reaktan} \\ &= [100 \Delta G^\circ(C_6H_{10}O_5)_{10}] - [\Delta G^\circ(C_6H_{10}O_5)_{1000}] \\ &= [100 \times (-5.915,02)] - (-569.769,52) \\ &= -21.732,48 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\Delta G_R = \Delta H_f - \frac{T}{T_0} (\Delta H_f - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G_R = (-21.341,43) - [(358,15/298,15) \times (-21.341,43 \times -21.732,48)] +$$

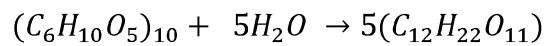
$$[8,314 \times (9921,78/8,314) \times (358,15-298,15)] -$$

$$[(8,314 \times 358,15) \times (9921,78/8,314) \times (358,15-298,15)/358,15]$$

$$\Delta G_R = -21.811.175,29 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_R = -21.811,175 \text{ kJ/mol}$$

Dan reaksi kedua, sakarifikasi (temperatur 50°C)



Persamaan  $\Delta H_f$

$$\begin{aligned} \Delta H_f &= \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= [5 \Delta H_f^\circ (C_{12}H_{22}O_{11})] - [5 \Delta H_f^\circ H_2O \\ &\quad + \Delta H_f^\circ (C_6H_{10}O_5)_{10}] \\ &= [5 \times (-1.971,48)] - [(5 \times (-0,285)) + (-8.995,07)] \\ &= -860,851 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta C_p = \sum_j v_j C_{p_j}$$

$$\begin{aligned} \Delta C_p &= 5[(2 \times 30,34) + (10 \times 27,16) + (8 \times 65,46) + (2 \times 30,7) + (1 \times 30,7)] \\ &\quad - \{[(1000 \times 30,34) + (5000 \times 27,16) + (3002 \times 65,46) + (1000 \times 30,7) + \\ &\quad (999 \times 30,7)] + [5 \times 75,3]\} \end{aligned}$$

$$\Delta C_p = (5 \times 948,06) - [4339,42 + (5 \times 75,3)]$$

$$\Delta C_p = 71,5 \text{ J/mol K}$$

Sehingga  $\Delta H_R$  untuk sakarifikasi (50°C atau 323,15 K) adalah

$$\Delta H_R = \Delta H_f + \int_{T_0}^T \Delta C_p \cdot dT$$

$$\begin{aligned} \Delta H_R &= -860.851 + (71,5 \times (323,15 - 293,15)) \\ &= -859.063,5 \text{ J/mol} \\ &= -859,064 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Persamaan  $\Delta G^\circ$

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ \text{ produk} - \Delta G^\circ \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} &= [5 \Delta G^\circ (C_{12}H_{22}O_{11})] - [5 \Delta G^\circ H_2O + \Delta G^\circ (C_6H_{10}O_5)_{10}] \\ &= [5 \times (-1.358,62)] - [(55 \times (-0,237)) + (-5.915,02)] \\ &= -877,843 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

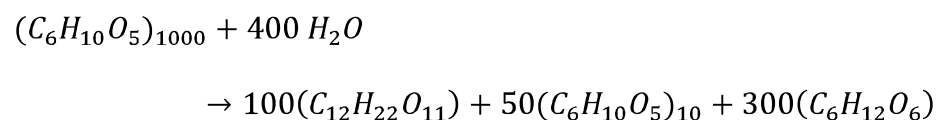
$$\Delta G_R = \Delta H_f - \frac{T}{T_0} (\Delta H_f - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_R &= (-860.851) - [(323,15/298,15) \times (-860.851 \times -877.843)] + \\ & \quad [8,314 \times (71,5 / 8,314) \times (323,15 - 298,15)] - \\ & \quad [(8,314 \times 323,15) \times (71,5 / 8,314) \times (323,15 - 298,15) / 323,15] \end{aligned}$$

$$\Delta G_R = -879.267,87 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_R = -879,267 \text{ kJ/mol}$$

b. Reaksi dengan katalis asam (temperatur 180°C)



Persamaan  $\Delta H_r^\circ$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^\circ &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\
 &= [100 \Delta H_f^\circ (C_{12}H_{22}O_{11}) + 50 \Delta H_f^\circ (C_6H_{10}O_5)_{10} + \\
 &\quad 300 \Delta H_f^\circ (C_6H_{12}O_6)] - [\Delta H_f^\circ (C_6H_{10}O_5)_{1000} \\
 &\quad + 400 \Delta H_f^\circ H_2O] \\
 &= [(100 \times (-1.971,48)) + (50 \times (-8.995,07)) + (300 \times (-1.093,52))] \\
 &\quad - [(-878.166) + (400 \times (-0,2858))] \\
 &= -96.676,61 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\Delta C_p = \sum_j v_j C_{p_j}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta C_p &= 100[(2 \times 34,52) + (10 \times 32,48) + (8 \times 101,18) + (2 \times 32,6) + (1 \times 32,6)] \\
 &\quad + 50[(10 \times 34,52) + (50 \times 32,48) + (32 \times 101,18) + (10 \times 32,6) + (9 \times 32,6)] \\
 &\quad + 300[(1 \times 34,52) + (5 \times 32,48) + (5 \times 101,18) + (1 \times 32,6)] \\
 &\quad - \{[(1000 \times 34,52) + (5000 \times 32,48) + (3002 \times 101,18) + (1000 \times 32,6) \\
 &\quad + (999 \times 32,6)] + (400 \times 76,27)\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta C_p &= [(100 \times 1.301,08) + (50 \times 5.826,76) + (300 \times 735,42)] - \\
 &\quad [565.829,76 + (400 \times 76,27)]
 \end{aligned}$$

$$\Delta C_p = 45.714,24 \text{ J/mol K}$$

Sehingga  $\Delta H_R$  untuk katalis asam (  $180^\circ C$  atau  $453,15 \text{ K}$ ) adalah

$$\Delta H_R = \Delta H_f + \int_{T_0}^T \Delta C_p \cdot dT$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_R &= -96.676.610 + (45.714,24 \times (453,15 - 293,15)) \\
 &= -89.590.902,8 \text{ J/mol} \\
 &= -89.590,901 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$



Persamaan  $\Delta G^\circ$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ &= \Delta G^\circ \text{ produk} - \Delta G^\circ \text{ reaktan} \\
 &= [100\Delta G^\circ(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) + 50 \Delta G^\circ(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{10} + \\
 &\quad 300 \Delta G^\circ(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)] - [\Delta G^\circ(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{1000} \\
 &\quad + 400 \Delta G^\circ \text{ H}_2\text{O}] \\
 &= [(100 \times (-1.358,62)) + (50 \times (-5.915,02)) + (300 \times (-789,07))] - \\
 &\quad [(-569.769,52) + (400 \times (-0,2371))] \\
 &= -98.469,628 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\Delta G_R = \Delta H_f - \frac{T}{T_0} (\Delta H_f - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G_R = (-96.676,61) - [(453,15/298,15) \times (-96.676,61 - -98.469,628)]$$

$$+ [8,314 \times (45.714,24/8,314) \times (453,15 - 298,15)] -$$

$$[(8,314 \times 453,15) \times (45.714,24/8,314) \times (453,15 - 298,15)/453,15]$$

$$\Delta G_R = -99.401.768,84 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_R = -99.401,77 \text{ kJ/mol}$$

Tabel 2.9. Perbandingan Kondisi Operasi Proses Enzim dan Asam

Parameter	Metode Katalis Asam	Metode Katalis Asam-Enzim		Metode Katalis Enzim	
		Katalis Asam	Sakarifikasi	Likuifikasi	Sakarifikasi
<b>Faktor Termodinamika</b>					
Temperatur (°C)	180	180	50	85	50
Tekanan (atm)	4	4	1	1	1
pH	1,9	1,9	7	7	7
$\Delta H$	-89.590,90	-89.590,90	-859,06	-20.746,12	-859,06
$\Delta G$	-99.401,77	-99.401,77	-879,27	-21.811,18	-879,27
$\Delta H$ (25°C)	-96.676,61	-96.676,61	-860,85	-21.341,43	-860,85
$\Delta G$ (25°C)	-98.469,63	-98.469,63	-877,84	-21.732,48	-877,84
<b>Bahan dan Produk</b>					
Bahan	Singkong	Singkong		Singkong	
Konversi (%)		98		95,14	98
Yield	57	57			
Produk Samping	Dekstrosa (18%) & Dekstrin (24%)	Dekstrosa (18%)		-	-
<b>Faktor Ekonomi</b>					
Harga Bahan Baku (Rp/jam)	129.818.152,31	63.977.568,10		15.461.926,42	
Harga Katalis (Rp/jam)	5.216.876,41	2.645.333,839		227.078,68	
Keuntungan (Rp/jam)	-32.861.746,16	19.009.033,67		53.982.518,02	
Perawatan	Mahal	Mahal		Murah	

Dengan kondisi seperti yang diperlihatkan dalam tabel 2.9. maka proses menggunakan metode hidrolisis dengan menggunakan katalis enzim lebih tepat untuk dipilih.

### **C. Uraian Proses**

Ada 3 tahap proses pembuatan Sirup Maltosa dengan menggunakan bahan baku singkong, yaitu:

#### **1. Penyiapan Bahan Baku**

Singkong sebanyak 6.173,82 kg/jam di distibusikan dari gudang penyimpanan menuju *Washing Machine* untuk mengupas kulit ari singkong dan dibersihkan kotoran-kotoran yang masih terkandung pada singkong. Setelah tercuci bersih singkong dimasukan kedalam *Hammer Mill* untuk mengecilkan ukuran singkong. Setelah ukuran singkong kecil dimasukan kedalam alat *Mixing Tank* untuk ditambahkan air agar menjadi *slurry*.

#### **2. Proses Hidrolisa Pati**

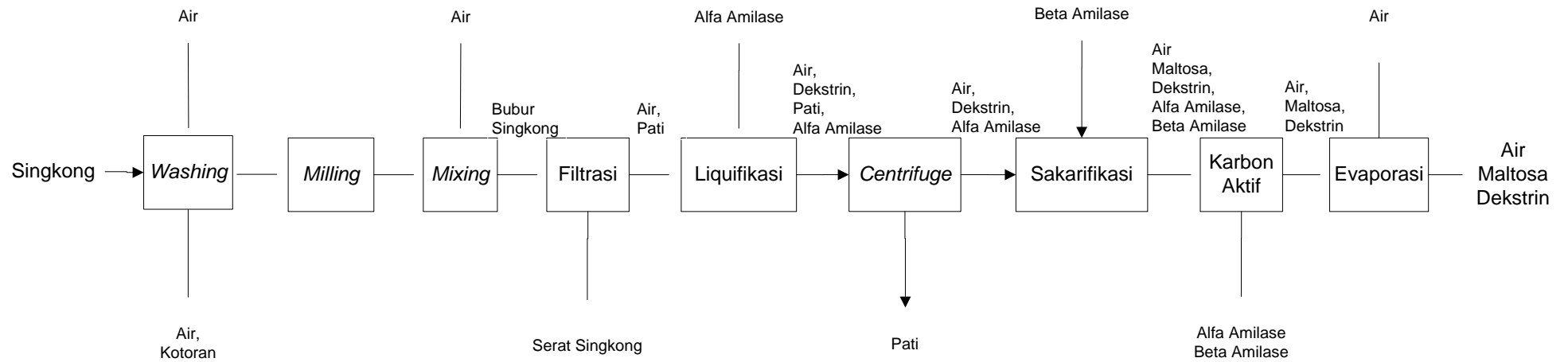
*Slurry* lalu dipompakan menuju *Rotary Vaccum Filter* untuk dipisahkan antara serat dan kandungan patinya. Setelah itu lalu dipompakan ke *Heat Exchanger* untuk dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu 85°C. Setelah itu diumpankan kedalam Reaktor Likuifiksasi yang beroperasi pada suhu 85°C dan tekanan 1 atm. Dalam proses di Reaktor Likuifikasi ditambahkan enzim  $\alpha$ -amilase yang mempunyai fungsi sebagai katalis. Dari reaktor ini dihasilkan dekstrin yang menjadi bahan baku untuk Reaktor Sakarifikasi.

Sebelum diumpankan kedalam Reaktor Sakarifikasi, terlebih dahulu dekstrin keluaran Reaktor Likuifikasi didinginkan pada *Heat Exchanger* hingga suhu  $50^{\circ}\text{C}$ . Setelah didinginkan, larutan dekstrin masuk ke alat *Centrifuge* untuk dipisahkan dengan pati yang tidak bereaksi di Reaktor Likuifikasi. Pada Reaktor Sakarifikasi, dekstrin ditambahkan dengan enzim  $\beta$ -amilase sebagai katalis. Keluaran dari Reaktor Sakarifikasi berupa Sirup Maltosa dan reaktan yang tidak bereaksi.

### **3. Proses Pemurnian Produk**

Maltosa dan reaktan sisa reaksi dimasukan kedalam tangki karbon aktif untuk dilakukan untuk penyerapan enzim  $\alpha$ -amilase dan  $\beta$ -amilase yang masih terkandung dalam produk. Keluaran dari tangki karbon aktif diumpankan kedalam evaporator untuk menguapkan sebagian  $\text{H}_2\text{O}$  dalam produk.

## Hidrolisis Pati dengan Katalis Enzim



Gambar 2.1. Blok Diagram Pabrik Maltosa dengan kapasitas 50.000 ton/tahun