

BAB II

PEMILIHAN PROSEDAN URAIAN PROSES

A. Jenis – Jenis Proses

Pati atau amilum merupakan karbohidrat kompleks yang dihasilkan oleh tumbuhan, dimana didalamnya terkandung kelebihan dekstrosa (sebagai produk fotosintesis). *Manihot Utilissima* mengandung karbohidrat yang cukup tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan dekstrosa melalui proses hidrolisis pati. Hidrolisis pati merupakan proses pemecahan molekul amilum menjadi bagian-bagian penyusunnya yang lebih sederhana, seperti dekstrosa (Purba, 2009).

Polimer karbohidrat di dalam kandungan buah perlu dikonversi menjadi gula sederhana, melalui suatu proses yang disebut dengan hidrolisis.. Hidrolisis meliputi proses pemecahan polisakarida menjadi monomer gula penyusunnya. Proses pembuatan dekstrosa dari pati *manihot utilissima* berdasarkan pada proses hidrolisis terdiri dari :

- a. Proses hidrolisis dengan katalis asam
- b. Proses hidrolisis dengan katalis enzim

Hidrolisis secara enzimatis 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 (Agus, 2008). Dekstrosa dibuat dari pati melalui proses hidrolisis yang mengubah pati menjadi dekstrin atau sirup dekstrosa tergantung dari derajat pemecahannya (Dziedzic, 1994). Proses pembuatan dekstrosa terdiri dari proses gelatinasi, liquifikasi, sakarifikasi dan penghilangan kadar air.

1. Hidrolisis pati menggunakan asam

Proses hidrolisis 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 dekstrosa. Jenis asam encer yang biasanya digunakan untuk hidrolisis ini adalah HClencer. 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).

Hidrolisis pati dengan katalis asam memerlukan energi yang sangat besar untuk proses pemanasannya. Hidrolisis pati ini memerlukan peralatan yang tahan korosi. Dekstrosa yang dihasilkan dari proses hidrolisis ini adalah 30-55% dan gula yang dihasilkan sebagian besar merupakan gula pereduksi. (*International Starch Institute*, 1999)

Degradasi gula dan produk samping ini tidak hanya akan mengurangi hasil produksi dekstrosa. 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 (Taherzadeh & 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

Enzim dapat mempercepat reaksi (sebagai katalis), enzim tidak diubah oleh reaksi yang dikatalisnya, dan enzim tidak mengubah kedudukan normal dari keseimbangan kimia. Dengan kata lain enzim dapat membantu mempercepat pembentukan produk, tetapi akhirnya jumlah produk tetap sama dengan produk yang diperoleh tanpa enzim. Kondisi yang mempengaruhi aktifitas enzim diantaranya konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, pH, dan suhu. *Alpha amylase* merupakan enzim yang berfungsi memecah pati atau glukogen. Senyawa ini banyak terdapat pada tanaman dan hewan. *Amylase* dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan enzim yaitu:

- a. *α-amylase* (EA) yang memecah pati secara acak dari tengah atau dari bagian dalam molekul..
- b. *Glukoamylase* (EG) yang dapat memisahkan dekstrosa dari terminal gula non pereduksi substrat pati. (Winarno, 1995)

Hidrolisis enzim dilakukan menggunakan bantuan enzim *α-amylase* dan enzim *glukoamylase* (*amyloglukosidase*). Enzim *α-amylase* digunakan pada proses likuifikasi, sedangkan *glukoamylase* digunakan pada proses sakarifikasi. Hidrolisis enzim lebih banyak memberikan keuntungan dibandingkan dengan hidrolisis asam. Hidrolisis enzim menghasilkan konversi yang lebih besar jika dibandingkan dengan hidrolisis asam. Hidrolisis enzim juga dapat mencegah adanya reaksi efek samping karena sifat katalis enzim sangat spesifik, sehingga dapat mempertahankan *flavor* dan aroma bahan dasar (winarno, 1995).

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

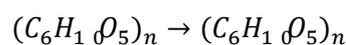
a. Tahapan Gelatinasi

Pada proses gelatinasi singkong dipanaskan selama 5 menit bertujuan untuk memecah granula pati. Karena pati terdiri dari amilosa dan amilopektin, pemanasan dengan menggunakan air akan membuat keduanya terpisah. Fraksi terlarut disebut amilosa dan fraksi yang tidak terlarut disebut amilopektin. (Winarno, 1989)

Proses pemasakan berlangsung pada suhu 100°C dan pada tekanan 1 atm. Granula pati akan membengkak seiring dengan bertambahnya suhu. Hal ini akan menyebabkan viskositas pada manihot utilisima akan meningkat dan manihot utilisima tersebut akan berbentuk *slurry*. (Wang, 2007).

b. Tahapan Likuifaksi

Tahap likuifaksi adalah proses pencairan gel pati dengan enzim α -amilase. Tujuan dari proses ini adalah untuk melarutkan pati secara sempurna, mencegah isomerisasi gugus pereduksi dari dekstrosa dan mempermudah kerja enzim α -amilase untuk memutus ikatan α -1,4 glikosida pada amilosa dan amilopektin sehingga menghasilkan dekstrin dan apabila reaksi ini diteruskan α -amilase akan memutus ikatan α -1,4 glikosida pada dekstrin sehingga dihasilkan maltosa dan dekstrosa (Judoamidjojo, 1992). Adapun reaksinya sebagai berikut:

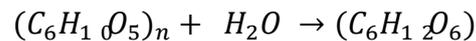


PatiDekstrin

Pada tahap likuifikasi temperatur yang digunakan adalah sebesar 90°C dan waktu reaksi berlangsung selama 2 jam untuk menghasilkan maltosa dengan kualitas baik.

c. Tahapan Sakarifikasi

Proses ini merupakan proses hidrolisis dengan menggunakan enzim glukoamilase untuk mengkonversi dekstrin menjadi dekstroza. Suhu yang digunakan adalah 60°C pada tekanan 1 atm. Kondisi operasi dalam reaktor akan berlangsung dalam suasana asam yang akan diatur dengan menggunakan HCl 0,1 M kemudian ditambahkan enzim *glukoamilase* selama 8 jam.



Dekstrin Air Dekstroza

(Agra dkk, 1973; Stout & Rydberg Jr., 1939)

Hidrolisis ini dilakukan dengan menggunakan kombinasi enzim – enzim sesuai dengan kebutuhan operasi dan kebutuhan kualitas produk yang berbeda – beda. Enzim yang digunakan untuk proses hidrolisis pati menjadi dekstroza adalah enzim *alfa- amylase* dan *glukoamilase*. Dekstroza yang dihasilkan dari proses hidrolisis ini adalah 96-98%.

B. Pemilihan Proses

Pada umumnya proses pembuatan dekstroza dengan proses hidrolisis. Pada proses hidrolisis dapat menggunakan 2 jenis katalis yaitu, katalis asam dan katalis enzim sebagaimana telah diuraikan sebelumnya. Adapun perbandingannya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1. Perbandingan proses hidrolisis dengan katalis asam dan enzim

No.	Faktor Pemilihan	Hidrolisis		
		Katalis Asam	Tahap 1 (Likuiifikasi)	Tahap 2 (Sakarifikasi)
1	Kondisi Operasi			
	a. Tekanan (atm)	4	1	1
	b. Suhu (°C)	180	90	60
	c. pH	1,9	6	4,5
2	Konversi (%)	55	95,14	97
3	Biaya Perawatan	Mahal	Murah	

Berdasarkan Tabel 2.1. menunjukkan bahwa dengan menggunakan katalis asam memerlukan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan katalis enzim namun kondisi operasinya relatif lebih tinggi jika dilihat dari tekanan dan suhu dibanding katalis enzim sedangkan pada pHnya lebih rendah. Hal ini dapat memperbesar biaya operasi selama proses berjalan dan biaya perawatan. Jika dilihat dari konversi dekstroza diperoleh katalis enzim lebih besar dari katalis asam.

Selain itu pemilihan proses juga didasarkan pada tinjauan ekonomi dan tinjauan termodinamika yang akan diperoleh. Adapun tinjauannya adalah sebagai berikut:

- **Tinjauan Ekonomi**

Perhitungan ekonomi kasar berdasarkan bahan baku dan katalis yang diperlukan

Tabel 2. 2. Harga Bahan Baku, Katalis dan Produk

No.	Nama	Rp/ unit
1	Manihot Utilissima	1000/ kg
2	Tapioka	5.500/ kg
3	Asam Klorida (HCl)	2.500/ kg
4	Enzim Glukoamilase (EG)	5.697/ kg
5	Enzim α -amilase (EA)	14.374/ kg
6	Dekstrosa	5.800/ kg

Sumber: Alibaba.com/2012

1. Perhitungan ekonomi kasar pada proses hidrolisis menggunakan katalis enzim.

a. Manihot Utilissima

Kapasitas produksi dekstrosa = 60.000 ton/ tahun
 = 7.575,76 kg/ jam
 = 42,088 kmol/ jam

Kandungan Pati dalam *manihot utilissima* = 80 %

Konversipati menjadi dekstrin = 95,14%

(Zusfahair,2012)

Konversidekstrin menjadi dekstrosa= 97 %

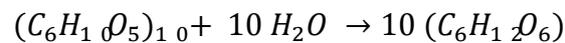
(Patent US2012/0171731 A1)

- Jumlah dekstrin yang dibutuhkan ;

Dimana,

$$\%K o n v e r s i \ D e k s t r i n = \frac{m o l \ D e k s t r i n \ b e r e a k s i}{m o l \ D e k s t r i n \ u m p a n} \times 100\%$$

Dari reaksi sakarifikasi ini jika diketahui mol dekstrosa (c),



	Dekstrin	Air	Dekstrosa
M:	a	b	-
B:	$\frac{1}{10} c$	$\frac{10}{10} c$	c
S:	$a - (\frac{1}{10} c)$	$b - (\frac{10}{10} c)$	c

Dari reaksi diatas maka diperoleh persamaan untuk mendapatkan umpan mol dekstrin;

$$\%K o n v e r s i \ d e k s t r i n = \frac{\frac{1}{10} \times m o l \ d e k s t r o s a}{m o l \ D e k s t r i n \ u m p a n} \times 100\%$$

$$m o l \ d e k s t r i n \ u m p a n$$

$$= \frac{\frac{1}{10} \times m o l \ d e k s t r o s a}{\%K o n v e r s i \ d e k s t r i n} \times 100\%$$

$$= \frac{\frac{1}{10} \times 42,088}{97\%} \times 100\%$$

$$Mol \ dekstrin \ umpan = 4,339 \ kmol/jam$$

$$Massa \ dekstrin \ umpan = 4,339 \ kmol/ \ jam \times 1.620 \ kg/kmol$$

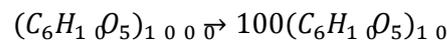
$$= 7.029,130 \ kg/jam$$

- Jumlah pati yang dibutuhkan ;

Dimana,

$$\%K o n v e r s i = \frac{m o l p a t i b e r e a k s i}{m o l p a t i u m p a n} \times 100\%$$

Dari reaksi likuifaksi ini jika diketahui mol dekstrin (c),



	Pati	Dekstrin
M:	a	
B:	$\frac{1}{100}b$	b
S:	$a - (\frac{1}{100}b)$	b

Dari reaksi diatas maka diperoleh persamaan untuk mendapatkan umpan mol pati;

$$\%K o n v e r s i = \frac{\frac{1}{100} \times m o l p a t i}{m o l p a t i u m p a n} \times 100\%$$

$$= \frac{\frac{1}{100} \times m o l d e k s t r i n}{\%K o n v e r s i p a t i} \times 100\% m o l p a t i u m p a n$$

$$= \frac{\frac{1}{100} \times 4,339}{95,14 \%} \times 100\%$$

Mol pati umpan = 0,0456 kmol/jam

Massa pati umpan = 0,0456 kmol/ jam x 162.000 kg/kmol

= **7.388,196 kg/jam**

- Jumlah *Manihot U.* yang dibutuhkan ;

$$= \frac{100}{\text{kandung an pati dalam manihotu}} \times \text{jumlah pati}$$

$$= \frac{100}{80} \times 7.388,196 \text{ kg/ jam} = 9.235,245 \text{ kg/ jam}$$

- Enzim α - amylase (EA) dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dibutuhkan pada proses likuifikasi,

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

$$= 0,0006 \text{ kg/ kg pati}$$

$$\text{Jumlah pati yang masuk} = 7.388,196 \text{ kg/ jam}$$

Banyaknya enzim yang dibutuhkan;

$$= \text{EA} \times \text{Pati yang masuk}$$

$$= 0,0006 \text{ kg/ kg pati} \times 7.388,196 \text{ kg/ jam} = 4,43 \text{ kg/ jam}$$

Dalam reaksi ini ditambahkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ serta EA yang dapat stabil bila terdapat Ca^{2+} sebanyak 80 ppm dalam bubur pati.

$$80 \text{ ppm} = 80 \text{ mg/ L}$$

Asumsi 1 Liter pati = 1 kg bubur pati

$$\text{Jadi, berat } \text{Ca}^{2+} = 80 \text{ mg/ kg bubur pati}$$

$$= 0,00008 \text{ kg/ kg bubur pati}$$

Dimana;

$$\text{BM Ca} = 40 \text{ kg/ kmol}$$

$$\text{BM Ca}(\text{OH})_2 = 111 \text{ kg/ kmol}$$

$$\text{Berat Ca}(\text{OH})_2 = \text{beratCa}^{2+} \times \frac{\text{BM Ca}(\text{OH})_2}{\text{BM Ca}} = 0,00008 \times \frac{111}{40}$$

$$= 0,0002 \text{ kg/ kg bubur pati}$$

Jadi,

$$\begin{aligned} \text{laju alir Ca(OH)}_2 &= 0,0002 \text{ kg/ kg bubuk pati} \times 7.388,196 \text{ kg bubuk} \\ &\text{pati/ jam} \\ &= 1,64 \text{ kg/ jam} \end{aligned}$$

- Enzim Glukoamilase (EG) dan HCl yang dibutuhkan pada proses sakarifikasi.

Pada proses sakarifikasi dibutuhkan enzim glukoamilase (EG) dan HCl untuk menurunkan pH dari 6 menjadi 4-4,5.

$$\text{Dosis EG yang dibutuhkan} = 0,65 \text{ L/ ton dekstrin}$$

$$\text{Densitas EG} = 1,15 \text{ kg/ L}$$

$$\begin{aligned} \text{EG yang ditambahkan} &= 0,65 \text{ L/ ton dekstrin} \\ &= 0,00065 \text{ L/ kg dekstrin} \end{aligned}$$

$$\text{Dekstrin yang masuk} = 7.029,05 \text{ kg/ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa EG yang dibutuhkan} &= \text{Dekstrin yang masuk} \times \text{EG yang} \\ &\text{ditambah} \times \text{densitas EG} \\ &= 7.029,05 \text{ kg/ jam} \times 0,00065 \text{ L/ kg} \\ &\text{dekstrin} \times 1,15 \text{ kg/ L} \\ &= \mathbf{5,25 \text{ kg/ jam}} \end{aligned}$$

Kebutuhan HCl

Proses sakarifikasi berlangsung pada pH 4.5 untuk itu perlu ditambahkan pengasaman berupa HCl 0.1 M. HCl yang digunakan memiliki kadar 37% densitas 1.1837 gram/cm³.

Sehingga molaritas HCl tersebut (M_1) adalah 12 M

$$\text{pH yang berlangsung} = 4,5$$

$$\text{maka } [H^+] = [HCl] = 10^{4.5} = 3,162277 \times 10^{-5} \text{ M}$$

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

Dimana,

V_1 = Volume HCl yang harus ditambahkan

V_2 = Volume campuran yang ada dalam tangki sakarifikasi

ρ campuran = 1,1654 kg/ L

rate masuk = massa air + massadekstrin + massa Ca(OH)₂ +
massa

EG + massaEA

$$= (7.388,12\text{kg/jam}) + (7.029,05 \text{ kg/jam}) + (1,64$$

kg/jam) + (4,43 kg/ jam)+ (5,25 kg/jam)

rate masuk = 7.822,65 kg/ jam

$$12.01198 \times V_1 = 3.16228 \times 10^{-5} \times V_2$$

$$V_1 = \frac{\text{ratemasuk}}{379852.2394 \times 1.1654} + \frac{\text{volumeGlukoamylase}}{379852.2394}$$

$$V_1 = 0,02 \text{ L/ jam} = \mathbf{0,02 \text{ kg/ jam}}$$

Pengeluaran

KOMPONEN	berat (kg/jam)	Biaya (Rupiah/jam)
Manihot U.	9.235,14	8.126.927,44
HCl 0,1 M	0,02	38,36
Glukoamylase	5,25	79.400,26
a-amylase	4,43	85.88241
Ca(OH) ₂	1,64	2.256,13
Total	9.246,49	8.294.504,61

Pemasukan

KOMPONEN	berat (kg/jam)	biaya (Rupiah/jam)
Dekstrosa	7.575,76	136.363.636,36

$$\mathbf{Keuntungan} = \text{Biaya Pemasukan} - \text{Biaya Pengeluaran}$$

$$= \text{Rp. } 136.363.654,14/\text{jam} - \text{Rp. } 8.294.504,61/\text{jam}$$

$$= \text{Rp. } 128.069.131,76/\text{jam}$$

b. Tapioka

$$\text{Kapasitas produksi dekstrosa} = 60.000 \text{ ton/ tahun}$$

$$= 7.575,76 \text{ kg/ jam}$$

$$= 42,088 \text{ kmol/ jam}$$

$$\text{Kandungan Pati dalam Tapioka} = 86 \%$$

$$\text{Konversipati menjadi dekstrin} = 95,14\%$$

(Zusfahair,2012)

$$\text{Konversi dekstrin menjadi dekstrosa} = 97 \%$$

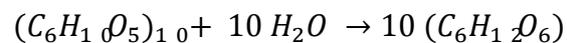
(Patent US2012/0171731 A1)

- Jumlah dekstrin yang dibutuhkan ;

Dimana,

$$\% \text{Konversi Dekstrin} = \frac{\text{mol Dekstrin bereaksi}}{\text{mol Dekstrin umpan}} \times 100\%$$

Dari reaksi sakarifikasi ini jika diketahui mol dekstrosa (c),



	Dekstrin	Air	Dekstrosa
M:	a	b	-
B:	$\frac{1}{10} c$	$\frac{10}{10} c$	c
S:	$a - (\frac{1}{10} c)$	$b - (\frac{10}{10} c)$	c

Dari reaksi diatas maka diperoleh persamaan untuk mendapatkan umpan mol dekstrin;

$$\begin{aligned} \%K o n v e r s i d e k s t r i n &= \frac{\frac{1}{10} x \text{ mol dekstroza}}{\text{mol Dekstrin umpan}} x 100\% \\ &= \frac{\frac{1}{10} x \text{ mol dekstroza}}{\%K o n v e r s i d e k s t r i n} x 100\% \text{ mol dekstrin umpan} \\ &= \frac{\frac{1}{10} x 42,088}{97\%} x 100\% \end{aligned}$$

$$\text{Mol dekstrin umpan} = 4,339 \text{ kmol/jam}$$

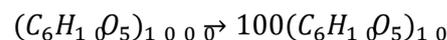
$$\begin{aligned} \text{Massa dekstrin umpan} &= 4,339 \text{ kmol/ jam} x 1.620 \text{ kg/kmol} \\ &= \mathbf{7.029,130 \text{ kg/jam}} \end{aligned}$$

- Jumlah pati yang dibutuhkan ;

Dimana,

$$\%K o n v e r s i p a t i = \frac{\text{mol pati bereaksi}}{\text{mol pati umpan}} x 100\%$$

Dari reaksi likuifaksi ini jika diketahui mol dekstrin (c),



	Pati	Dekstrin
M:	a	
B:	$\frac{1}{100}b$	b
S:	$a - (\frac{1}{100}b)$	b

Dari reaksi diatas maka diperoleh persamaan untuk mendapatkan umpan mol pati;

$$\%K o n v e r s i p a t i = \frac{\frac{1}{100} x \text{ mol pati}}{\text{mol pati umpan}} x 100\%$$

m o l p a t i u m p a n

$$= \frac{\frac{1}{100} \times \text{mol dextrin}}{\% \text{Konversi pati}} \times 100\% \text{ mol pati umpan}$$

$$= \frac{\frac{1}{100} \times 4,339}{95,14\%} \times 100\%$$

Mol pati umpan = 0,0456 kmol/jam

Massa pati umpan = 0,0456 kmol/ jam x 162.000 kg/kmol
= **7.388,196 kg/jam**

- Jumlah tapioka yang dibutuhkan ;

$$= \frac{100}{\text{kandung an pati dalam tapioka}} \times \text{jumlah pati}$$

$$= \frac{100}{86} \times 7.388,196 \text{ kg/ jam} = \mathbf{8.590,3 \text{ kg/ jam}}$$

- Enzim α - amylase (EA) dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dibutuhkan pada proses likuifikasi.

Banyaknya EA yang dibutuhkan = 0,6 kg/ ton pati
= 0,0006 kg/ kg pati

Jumlah pati yang masuk = 7.388,196 kg/ jam

Banyaknya enzim yang dibutuhkan;

$$= EA \times \text{Pati yang masuk}$$

$$= 0,0006 \text{ kg/ kg pati} \times 7.388,196 \text{ kg/ jam} = \mathbf{4,43 \text{ kg/ jam}}$$

Dalam reaksi ini ditambahkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ serta EA yang dapat stabil bila terdapat Ca^{2+} sebanyak 80 ppm dalam bubur pati.

$$80 \text{ ppm} = 80 \text{ mg/ L}$$

Asumsi 1 Liter pati = 1 kg bubur pati

$$\begin{aligned}\text{Jadi, berat Ca}^{2+} &= 80 \text{ mg/ kg bubur pati} \\ &= 0,00008 \text{ kg/ kg bubur pati}\end{aligned}$$

Dimana;

$$\text{BM Ca} = 40 \text{ kg/ kmol}$$

$$\text{BM Ca(OH)}_2 = 111 \text{ kg/ kmol}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Ca(OH)}_2 &= \text{beratCa}^{2+} \times \frac{\text{BM Ca(OH)}_2}{\text{BM Ca}} = 0,00008 \times \frac{111}{40} \\ &= 0,0002 \text{ kg/ kg bubur pati}\end{aligned}$$

Jadi,

$$\begin{aligned}\text{laju alir Ca(OH)}_2 &= 0,0002 \text{ kg/ kg bubur pati} \times 7.388,196 \text{ kg bubur} \\ &\text{pati/ jam} \\ &= 1,64 \text{ kg/ jam}\end{aligned}$$

- Enzim Glukoamilase (EG) dan HCl yang dibutuhkan pada proses sakarifikasi.

Pada proses sakarifikasi dibutuhkan enzim glukoamylase (EG) dan HCl untuk menurunkan pH dari 6 menjadi 4-4,5.

$$\text{Dosis EG yang dibutuhkan} = 0,65 \text{ L/ ton dekstrin}$$

$$\text{Densitas EG} = 1,15 \text{ kg/ L}$$

$$\begin{aligned}\text{EG yang ditambahkan} &= 0,65 \text{ L/ ton dekstrin} \\ &= 0,00065 \text{ L/ kg dekstrin}\end{aligned}$$

$$\text{Dekstrin yang masuk} = 7.029,05 \text{ kg/ jam}$$

$$\text{Massa EG yang dibutuhkan} = \text{Dekstrin yang masuk} \times \text{EG yang}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{ditambah x densitas EG} \\
 & = 7.029,05 \text{ kg/ jam} \times 0,00065 \text{ L/ kg} \\
 & \text{dekstrin} \times 1,15 \text{ kg/ L} \\
 & = \mathbf{5,25 \text{ kg/ jam}}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan HCl

Proses sakarifikasi berlangsung pada pH 4.5 untuk itu perlu ditambahkan pengasaman berupa HCl 0.1 M. HCl yang digunakan memiliki kadar 37% densitas 1.1837 gram/cm³. Sehingga molaritas HCl tersebut (M_1) adalah 12 M.

$$\text{pH yang berlangsung} = 4,5$$

$$\text{maka } [H^+] = [HCl] = 10^{4.5} = 3,162277 \times 10^{-5} \text{ M}$$

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

Dimana,

V_1 = Volume HCl yang harus ditambahkan

V_2 = Volume campuran yang ada dalam tangki sakarifikasi

$$\rho \text{ campuran} = 1,1654 \text{ kg/ L}$$

rate masuk = massa air + massa dekstrin + massa Ca(OH)₂ +
massa

EG + massa EA

$$\begin{aligned}
 & = (7.388,12 \text{ kg/jam}) + (7.029,05 \text{ kg/jam}) + (1,64 \\
 & \text{ kg/jam}) + (4,43 \text{ kg/ jam}) + (5,25 \text{ kg/jam})
 \end{aligned}$$

$$\text{rate masuk} = 7.822,65 \text{ kg/ jam}$$

$$12.01198 \times V_1 = 3.16228 \times 10^{-5} \times V_2$$

$$V_1 = \frac{\text{ratemasuk}}{379852.2394 \times 1.1654} + \frac{\text{volumeGlukoamylase}}{379852.2394}$$

$$V_1 = 0,02 \text{ L/ jam}$$

$$= 0,02 \text{ kg/ jam}$$

Pengeluaran

KOMPONEN	berat (kg/jam)	Biaya (Rupiah/jam)
Tapioka	8,590.83	47,249,578.12
HCl 0,1 M	0.02	38.36
Glukoamylase	5.25	79,400.26
a-amylase	4.43	85,882.41
Ca(OH) ₂	1.64	2,256.13
Total	8,602.18	47,417,155.29

Pemasukan

KOMPONEN	berat (kg/jam)	biaya (Rupiah/jam)
Dekstrosa	7,575.76	136,363,636.36

Keuntungan = Biaya pemasukan – Biaya Pengeluaran

$$= \text{Rp. } 136.363.654,14/ \text{ jam} - \text{Rp. } 47.417.155,29/ \text{ jam}$$

$$= \text{Rp. } 88.946.481,08/ \text{ jam}$$

2. Perhitungan ekonomi kasar pada proses hidrolisis menggunakan katalis asam HCl.

a. Manihot Utilissima

$$\text{Kapasitas produksi} = 60.000 \text{ ton/ tahun}$$

$$= 7.575,76 \text{ kg/ jam}$$

$$\text{Pati dalam } \textit{manihot utilissima} = 80 \%$$

$$\text{Yield dekstrosa dari pati} = 55 \%$$

Jumlah pati yang dibutuhkan ;

$$= \frac{100}{\text{yield dekstrosa}} \times \text{kapasitas produksi dekstrosa}$$

$$= \frac{100}{55} \times 7.575,76 \text{ kg/jam} = 13.774,10 \text{ kg/jam}$$

Jumlah *Manihot Utilissima* yang dibutuhkan ;

$$= \frac{100}{\text{kandungan pati dalam manihot utilissima}} \times \text{pati yang dibutuhkan}$$

$$= \frac{100}{80} \times 13.774,10 \text{ kg/jam} = 17.217,63 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Perbandingan pati dengan air} = 1 : 3$$

Jadi, air yang dibutuhkan sebanyak = Pati yang dibutuhkan x 3

$$= 13.774,10 \text{ kg/jam} \times 3$$

$$= 41.322,63 \text{ kg/jam}$$

Dari persamaan reaksi =



Pati	Air	Dekstrosa
M: 0,09	510,15	-
R: 0,04	42,09	42,09
S: 0,04	468,06	42,09

Kebutuhan HCl

Untuk menghidrolisis pati menjadi dekstrosa dibutuhkan HCl 1,5

M sebanyak 10 L/ kg pati

Pati yang dibutuhkan = 13.774,10 kg/ jam

Maka dibutuhkan HCl 1,5M sebanyak 137.741 liter

Densitas HCl = 1,183 kg/ L

$$\text{BM HCl} = 36,5 \text{ kg/kmol}$$

HCl yang terdapat dipasaran kadarnya 37%. Dimana konsentrasinya,

$$M = \frac{\rho \times 10 \times \text{kadar}}{\text{BM}}$$

$$M = \frac{1,183 \times 10 \times 37}{36,5}$$

$$M_1 = 12 \text{ M}$$

Maka dilakukan pengenceran

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

$$12 \times V_1 = 1,5 \times 137.741$$

$$V_1 = 17.218,85 \text{ L}$$

$$\text{Laju alir HCl 37\%} = 17.218,85 \text{ L} \times 1,15 \text{ kg/ liter} = 19.801,68 \text{ kg}$$

Pengeluaran			
Komponen	Rp./ unit	Berat (kg/jam)	Harga (Rp/Jam)
<i>Manihot utilissima</i>	880/ kg	17.217,63	14.858.815,43
HCl	1.937,04/ kg	19.801,68	38.363.768,96
Total		37.019,31	53.222.584,39

Pemasukan			
Komponen	Rp./Unit	Berat (kg/jam)	Harga (Rp/Jam)
Dekstrosa	18.000/ kg	7.575,76	136.363.636,36

Keuntungan = Biaya Pemasukan – Biaya Pengeluaran

$$= \text{Rp. } 136.363.636,36/\text{jam} - \text{Rp. } 53.222.584,39/\text{jam}$$

$$= \text{Rp. } \mathbf{83.141.051,97/\text{jam}}$$

b. Tapioka

Kapasitas produksi = 60.000 ton/ tahun

= 7.575,76 kg/ jam

Pati dalam tapioka = 86 %

Konversi dekstrosa dari pati = 55 %

Jumlah pati yang dibutuhkan ;

$$= \frac{100}{\text{yield dekstrosa}} \times \text{kapasitas produksi dekstrosa}$$

$$= \frac{100}{55} \times 7.575,76 \text{ kg/ jam} = 13.774,10 \text{ kg/ jam}$$

Jumlah tapioka yang dibutuhkan ;

$$= \frac{100}{\text{kandungan pati dalam tapioka}} \times \text{pati yang dibutuhkan}$$

$$= \frac{100}{80} \times 13.774,10 \text{ kg/ jam} = 16.016,40 \text{ kg/ jam}$$

Perbandingan pati dengan air = 1 : 3

Jadi, air yang dibutuhkan sebanyak = Pati yang dibutuhkan x 3

= 13.774,10 kg/ jam x 3

= 41.322,63 kg/ jam

Dari persamaan reaksi =



Pati	Air	Dekstrosa
M: 0,09	510,15	-
R: 0,04	42,09	42,09
S: 0,04	468,06	42,09

Kebutuhan HCl

Untuk menghidrolisis pati menjadi dekstrosa dibutuhkan HCl 1,5 M sebanyak 10 L/ kg pati

Pati yang dibutuhkan = 13.774,10 kg/ jam

Maka dibutuhkan HCl 1,5M sebanyak 137.741 liter

Densitas = 1,183 kg/ L

BM HCl = 36,5 kg/kmol

HCl yang terdapat dipasaran kadarnya 37%. Dimana konsentrasinya,

$$M = \frac{\rho \times 10 \times \text{k a d a r}}{B M}$$

$$M = \frac{1,183 \times 10 \times 37}{36,5}$$

$$M_1 = 12 \text{ M}$$

Maka dilakukan pengenceran

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

$$12 \times V_1 = 1,5 \times 137.741$$

$$V_1 = 17.218,85 \text{ L}$$

$$\text{Laju alir HCl 37\%} = 17.218,85 \text{ L} \times 1,15 \text{ kg/ liter} = 19.801,68 \text{ kg}$$

Pengeluaran			
Komponen	Rp./ unit	Berat (kg/jam)	Harga (Rp/Jam)
Tapioka	5.500/ kg	16.016,40	88.090.204,37
HCl	1.937,04/ kg	19.801,68	38.363.768,96
Total		35.818,08	126.453.973,33

Pemasukan			
Komponen	Rp./ unit	Berat (kg/jam)	Harga (Rp/Jam)
Dekstrosa	18.000/ kg	7.575,76	136.363.636,36

Keuntungan = Biaya Pemasukan – Biaya Pengeluaran

= Rp. 136.363.636,36/jam – Rp.126.453.973,33/jam

= **Rp. 9.909.663,03/ jam**

Tabel. 2.3. Perbandingan ekonomi pada bahan baku untuk proses enzim dan proses asam

Bahan Baku	Harga	Enzim			Asam		
		Keuntungan	Keuntungan per Kg	Biaya Produksi	Keuntungan	Keuntungan per Kg	Biaya Produksi
	Rp.	Rp./jam	Rp.	Rp.	Rp./jam	Rp.	Rp.
<i>Manihot Utilissima</i>	880	128.069.131,76	16.905,13	1.094,87	83.141.051,97	10.974,62	7.025,38
Tapioka	5.500	88.946.481,08	11.740,09	6.259,06	9.909.663,03	1.308,08	16.691,92

- Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan reaksi yang terjadi di dalam reaktor dapat berlangsung tanpa membutuhkan energi yang besar atau tidak.

1. Pemilihan proses berdasarkan panas reaksi $\Delta H_{(Rx)}$

Penentuan panas reaksi yang berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$.

Persamaan :

$$\Delta H_r^\circ 298 \text{ K} = \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan}$$

- a. Panas reaksi dengan menggunakan enzim

Nilai ΔH_f^{298} untuk senyawa bio-polimer

- a. Dekstrosa

Dekstrosa			
Komponen	n	ΔH_f^{298}	$n \times \Delta H_f^{298}$
CO-HC	1	-142,42	-142,42
C-2COH	4	-27,6	-110,4
C-2HOC	1	-35,8	-35,8

(Perrys, Edisi 7)

$$\Delta H_f^{298} \text{ dekstrosa} = \sum n \times \Delta H_f^{298} = -1.246,12 \text{ k J/m o l}$$

b. Dekstrin

Dekstrin			
Komponen	n	Hf	n x Hf
C-2HOC	10	-35,8	-358
C-2COH	20	-27,6	-552
CO-HC	10	-142,42	-1.424,2
CO-2C	10	-152,76	-1.527,6
O-2C	9	-110,83	-997,47

(Perrys, Edisi 7)

$$\Delta H_f^{298} \text{dekstrin} = \sum n \ x \Delta H \ 298 = -9.596,62 \text{ k } // \text{m o l}$$

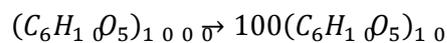
c. Pati

Pati			
Komponen	n	Hf	n x Hf
C-2HOC	1000	-35,8	-35800
C-2COH	2000	-27,6	-55200
CO-HC	1000	-142,42	-142.420
CO-2C	1000	-152,76	-152.760
O-2C	999	-110,83	-110.719,17

(Perrys, Edisi 7)

$$\Delta H_f^{298} \text{Pati} = \sum n \ x \Delta H \ 298 = -956.719,720 \text{ k } // \text{m o l}$$

Reaksi Likuifaksi:



Persamaan :

$$\Delta H_r^{298} \text{ K} = \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ} \text{ reaktan}$$

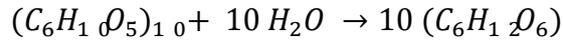
$$\Delta H_r^{298} \text{ K} = \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ} \text{ reaktan}$$

$$= [(100 \Delta H_f^{\circ}(C_6H_{10}O_5)_{100})] - [(\Delta H_f^{\circ}(C_6H_{10}O_5)_{1000})]$$

$$= [(100 \times (-9.596,62))] - [(-956.719,72)]$$

$$= -2.942,28 \text{ kJ/kmol}$$

Reaksi Sakarifikasi

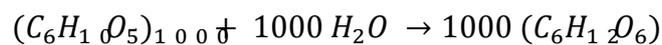


$$\begin{aligned} \Delta H_{r2}^{298\text{ K}} &= \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= [(10 \times \Delta H_f^{\circ}(C_6H_{12}O_6))] - \\ & \quad [(\Delta H_f^{\circ}(C_6H_{10}O_5)_{10}) + (10 \times \Delta H_f^{\circ}(H_2O))] \\ &= [(10 \times (-1.246,12))] - [(-9.596,62) + (10 \times -285,8)] \\ &= -6,280 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{r\text{TOTAL}}^{\circ} &= \Delta H_{r1}^{298\text{ K}} + \Delta H_{r2}^{298\text{ K}} \\ &= -2.942,28 \text{ kJ/kmol} + -6,280 \text{ kJ/kmol} \\ &= -2.948,56 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Karena nilai $\Delta H_r^{298\text{ K}}$ negatif, maka reaksi bersifat eksotermis.

b. Panas reaksi dengan menggunakan asam HCl



$$\begin{aligned} \Delta H_r^{298\text{ K}} &= \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= [(1000 \times \Delta H_f^{\circ}(C_6H_{12}O_6))] - \\ & \quad [(\Delta H_f^{\circ}(C_6H_{10}O_5)_{1000}) + (1000 \times \Delta H_f^{\circ}(H_2O))] \\ &= [(1000 \times (-1.246,12))] - [(-956.719,72) + (1000 \times - \\ & \quad 285,8)] \\ &= -3.570,28 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Karena nilai $\Delta H_r^{298\text{ K}}$ negatif, maka reaksi bersifat eksotermis.

2. Pemilihan berdasarkan ΔG°_f

Kelayakan suatu reaksi kimia ditinjau dari energi bebas Gibbs (ΔG°_f).

$$\Delta G_{reaksi} = \sum \Delta G^{\circ}_f \text{ Produk} - \sum \Delta G^{\circ}_f \text{ Reaktan}$$

a. Proses dengan menggunakan enzim

Perhitungan ΔG_f^{298} (kJ/mol), dimana kontribusi gugusnya adalah:

Group	ΔG_f^{298} (kJ/ mol)
-CH ₂ -	-3,68
$\begin{array}{c} \\ -\text{CH}- \end{array}$	40,99
-OH	-189,20
-O-	-98,22
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}- \end{array}$	-120,50
(-CH ₂ -OH)	-192,88
(-CH-OH-)	-148,21
(-H-C=O)	-120,5

(Sumber : Perry, 1999)

Nilai ΔG_f^{298} untuk senyawa bio-polimer

1. Dekstrosa

$$\begin{aligned} \Delta G_f^{298} &= 5(-\text{OH}) + 5\left(\begin{array}{c} | \\ -\text{CH}- \end{array}\right) + 1(-\text{O}-) + 1(-\text{CH}_2-) \\ &= -842,95 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

2. Pati (C₆H₁₀O₅)₁₀₀₀

$$\begin{aligned} \Delta G_f^{298} &= 1000(3(-\text{OH}) + 5\left(\begin{array}{c} | \\ -\text{CH}- \end{array}\right) + 2(-\text{O}-) + 1(-\text{CH}_2-)) \\ &= -562.770 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

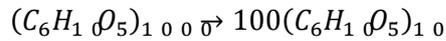
3. Dekstrin

$$\Delta G_f^{298} = 10(1(-\text{CH}_2\text{-OH}) + 1(-\text{O}-) + 1(-\text{CH}_2-) + 2(-\text{CH-OH-}) +$$

$$1 \text{ (-H-C=O))}$$

$$= -7.117 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi likuifaksi



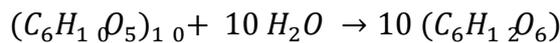
$$\Delta G_{\text{reaksi1}} = \sum \Delta G_f^{\circ} \text{ Produk} - \sum \Delta G_f^{\circ} \text{ Reaktan}$$

$$\Delta G_{\text{reaksi1}} = [(100 \times \Delta G_f^{\circ} (C_6H_{10}O_5)_{10(l)})] - [\Delta G_f^{\circ} (C_6H_{10}O_5)_{1000(l)}]$$

$$\Delta G_{\text{reaksi1}} = [(100 \times -7.117)] - [(-562.770)]$$

$$= -148.930 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi 2 Pada Reaktor :



$$\Delta G_{\text{reaksi2}} = \sum \Delta G_f^{\circ} \text{ Produk} - \sum \Delta G_f^{\circ} \text{ Reaktan}$$

$$\Delta G_{\text{reaksi2}} = (10 \times \Delta G_f^{\circ} C_6H_{12}O_{6(l)}) - (10 \times \Delta G_f^{\circ} H_2O + \Delta G_f^{\circ} C_6H_{10}O_{5(l)})$$

$$\Delta G_{\text{reaksi2}} = (10 \times -842,95 \text{ kJ/mol}) - ((10 \times -0,237) + (-7.117 \text{ kJ/mol}))$$

$$\Delta G_{\text{reaksi 2}} = -1.310,13 \text{ kJ/kmol}$$

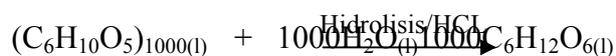
$$\Delta G_{\text{reaksi}_{\text{total}}} = \Delta G_{\text{reaksi1}} + \Delta G_{\text{reaksi2}}$$

$$\Delta G_{\text{reaksi}_{\text{total}}} = -148.930 \text{ kJ/mol} + (-1.310,13 \text{ kJ/kmol})$$

$$\Delta G_{\text{reaksi}_{\text{total}}} = -150.240,13 \text{ kJ/mol}$$

b. Proses dengan menggunakan asam

Reaksi Pada Reaktor :



$$\Delta G_{\text{reaksi}} = \sum \Delta G_f^{\circ} \text{ Produk} - \sum \Delta G_f^{\circ} \text{ Reaktan}$$

$$\Delta G_{reaksi} = (1000 \times \Delta G_f^{\circ} C_6H_{12}O_{6(l)}) - (1000 \times \Delta G_f^{\circ} H_2O + \Delta G_f^{\circ} C_6H_{10}O_{5(l)})$$

$$\Delta G_{reaksi2} = (1000 \times -842,95) - (1000 \times -0,237 + (-562.770))$$

$$\Delta G_{reaksi2} = -279.943 \text{ kJ/mol}$$

Tabel 2.5 Perbandingan Panas Reaksi dan Gibbs

Jenis Proses	ΔH	ΔG
	kJ/ mol	kJ/mol
Enzim	-2.948,56	-150.240,13
Asam	-3.570,28	-279.943

Note: untuk ΔH untuk basis pati 1kmol

Berdasarkan pertimbangan – pertimbangan di atas, maka dalam proses hidrolisis pati menjadi dekstrosa dipilih menggunakan hidrolisis dengan menggunakan katalis enzim dengan berbahan baku *manihot utilissima*. Adapun pertimbangannya adalah sebagai berikut:

- Persentase konversimassa dekstrosa yang dihasilkan mencapai 97%.
- Resiko kerusakan material karena korosi lebih kecil dengan katalis enzim.
- Biaya produksi cenderung lebih rendah dan lebih besar keuntungan dengan proses katalis enzim jika dibandingkan dengan proses katalis asam sebagaimana terlampir pada tabel 2.4.

C. Uraian Proses

1. Penyiapan Bahan Baku

Manihot Utilissima sebanyak 9.166,194 kg/jam di distribusikan dari gudang penyimpanan (ST-101) menuju *washing machine* (WM-101) dengan menggunakan belt conveyor (BC-101). *Manihot Utilissima* bersih diangkat menuju *Rolling crusher* (RC-101) dengan menggunakan *belt conveyor* (BC-103). Setelah itu keluaran RC-101 dicampur dengan air di dalam tangki pencampur (TP-101).

Slurry yang keluar dari tangki pencampur diumpankan ke *Rotary Drum Vaccum Filter* (RF-101) dengan menggunakan *screw conveyor* (SC-01) untuk memisahkan *filtrate* dan *cake*. *Cake* yang keluar dari RF-101 dibawa menuju gudang, sedangkan *filtrate* di pompa menuju Tangki Gelatinasi (TG-201).

2. Proses Hidrolisis Pati

Proses hidrolisis pati terjadi dalam 3 tahapan, yaitu :

a. Tahap gelatinisasi

Proses gelatinisasi terjadi pada suhu 100°C dan tekanan 1 atm di dalam tangki gelatinisasi (TG-201) selama 5 menit. Pada proses ini, cairan pati mengalami pemecahan ikatan kimia, sehingga memudahkan dalam penyerapan enzim pada proses selanjutnya.

b. Tahap likuifikasi

Proses likuifikasi terjadi pada suhu 90°C dan tekanan 1 atm. Sehingga sebelum umpan masuk terlebih dahulu didinginkan didalam *Cooler* (CL-

101). Pada proses likuifikasi, cairan pati yang telah tergelatinsasi bereaksi membentuk dekstrin $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan bantuan enzim α -amylase sebagai katalisnya. Proses likuifikasi ini berlangsung di dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaktor bekerja secara eksotermis dan tidak dapat balik sehingga suhu reaksi harus dipertahankan. Untuk menjaga suhu reaksi tetap 90°C , maka reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin.

Produk keluar dari RL-102 masih mengandung pati, sehingga diumpankan ke *Centrifuge* (CE-201) untuk memisahkan pati dari campuran dan pati diumpankan ke UPL. Produk yang keluar dari CE-201 pada suhu 90°C dan tekanan 1 atm, sehingga sebelum diumpankan ke RS-201 didinginkan terlebih dahulu pada *Cooler* (CL-202).

c. Tahap sakarifikasi

Proses sakarifikasi terjadi pada suhu 60°C dan tekanan 1 atm. Pada proses sakarifikasi, dekstrin $(C_6H_{10}O_5)_n$ bereaksi membentuk, dekstrosa $(C_6H_{12}O_6)$ dengan bantuan enzim glukoamilase sebagai katalisnya. Proses sakarifikasi ini berlangsung di dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaktor bekerja secara eksotermis dan tidak dapat balik sehingga suhu reaksi harus dipertahankan. Untuk menjaga suhu reaksi tetap 60°C , maka reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin.

3. Proses pemurnian produk

Produk yang keluar dari RS-202 diumpankan menuju Adsorber Enzim (AD-201) untuk menghilangkan enzim *α-amylase* dan *glukoamylase* yang terdapat pada produk.

Produk yang keluar dari AD-201 diumpankan menuju Adsorber Ion Ca (AD-202) yang bertujuan untuk menghilangkan ion Ca. Keluaran AD-202 diumpankan menuju Adsorber Ion Cl (AD-203) yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan ion Cl.

Setelah itu, output dari *ion exchanger* dialirkan menuju Evaporator (EV-101) untuk menguapkan sebagian air yang terkandung dalam produk. EV-101 dijalankan pada suhu 100°C dan tekanan 1 atm.