



## BAB II

### URAIAN DAN PEMILIHAN PROSES

#### II.1 Macam-macam Proses

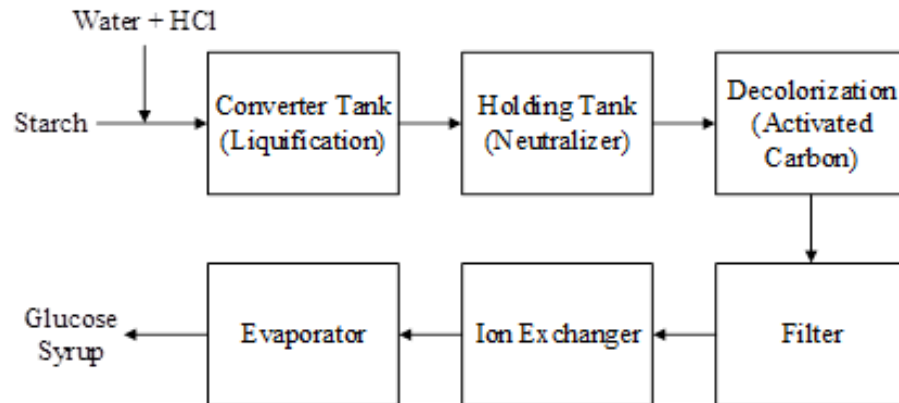
Dalam memproduksi sirup glukosa yang optimal dan memenuhi kriteria baik dari segi teknis maupun ekonomi, perlu ditinjau bagaimana proses dalam pengolahan bahan baku sampai menjadi produk. Terdapat dua proses yang dapat dilakukan untuk menghidrolisa pati sehingga menghasilkan glukosa, yaitu:

- 1) Hidrolisis dengan asam
- 2) Hidrolisis dengan enzim

##### II.1.1 Hidrolisis Asam

Hidrolisa ini menggunakan asam sebagai katalisnya, biasanya yang di pakai adalah asam kuat, misalnya HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pada hidrolisa pati dengan asam, diperlukan suhu tinggi yaitu 140°C-160°C selama 5-10 menit dengan tekanan 5,4 atm. Penambahan asam dijaga konstan untuk produk tertentu, dengan memperhatikan batasan ash yang ditentukan oleh spesifikasi produk Hidrolisis pati dengan katalis asam yang memerlukan energi sangat besar untuk proses pemanasannya. Hidrolisis pati ini memerlukan peralatan yang tahan korosi. Pada pembuatan glukosa, hidrolisa asam menghasilkan konversi yang rendah yaitu 55% jika dibandingkan dengan hidrolisa enzim, dimana asam akan memecah molekul pati secara acak dan gula yang dihasilkan sebagian besar adalah gula pereduksi (BeMiller, 2009).

Mekanisme proses hidrolisa pati dengan asam yakni sebagai berikut:



**Gambar II. 1 Mekanisme Proses Hidrolisis Pati dengan Menggunakan Asam**

- (1) Proses hidrolisis dilakukan dalam tangki *converter* yang terbuat dari baja tahan karat dengan dilengkapi pipa saluran uap pemanas dan pipa saluran udara yang dihubungkan dengan kompresor untuk mengatur tekanan udara di dalamnya
- (2) Bahan baku berupa slurry yang mengandung 35 - 45% padatan pati dipompa ke dalam tangki *converter* dan ditambahkan larutan asam klorida untuk menjaga pH sampai 2 sehingga terjadi proses hidrolisis.
- (3) Larutan dipanaskan di dalam tangki *converter* hingga mencapai suhu operasi 140 – 160 °C dengan tekanan sebesar 5,4 atm. Untuk memperoleh angka ekivalen dekstrosa (DE) yang tinggi, waktu tinggal dalam tangki selama 15 – 20 menit.
- (4) Setelah mencapai konversi yang sesuai, hasil proses hidrolisa ditampung dalam tangki *neutralizer* dengan menambahkan *neutralizing agent* (umumnya  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) untuk menaikkan pH sampai 4,5 – 5.
- (5) Setelah larutan netral kemudian dilakukan penjernihan. Larutan kemudian dipompa ke dalam kolom berisi karbon aktif untuk menyerap warna dari larutan glukosa. Kemudian diumpankan menuju unit filtrasi untuk memisahkan filtrat dengan *impurities*. Setelah itu, larutan diumpankan ke dalam dan kolom *ion exchanger* untuk menyerap ion – ion yang berbahaya.

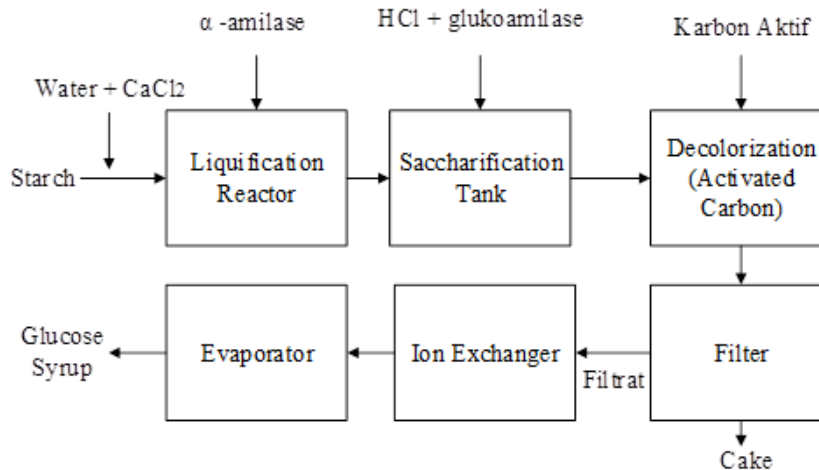


Kemudian larutan dievaporasi untuk menguapkan sisa – sisa kandungan air di dalam larutan glukosa (BeMiller, 2009).

### II.1.2 Hidrolisis Enzim

Hidrolisa pati dengan menggunakan katalis kombinasi enzim dengan enzim menghasilkan sirup dengan nilai DE sangat tinggi, yaitu lebih dari 95 % dan sirup bersifat “high fermentability”. Hidrolisa enzim dilakukan menggunakan bantuan enzim  $\alpha$ -amilase dan enzim *glukoamilase (amiloglukosidase)*. 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. Enzim  *$\alpha$ -amilase* merupakan enzim yang berfungsi memecah pati atau glukogen secara acak dari tengah atau dari bagian dalam molekul serta digunakan pada proses likuifikasi. Sedangkan *glukoamilase* dapat memisahkan dekstrosa dari terminal gula non pereduksi substrat pati yang digunakan pada proses sakarifikasi. Hidrolisa enzim juga dapat mencegah adanya reaksi efek samping karena sifat katalis enzim sangat spesifik, sehingga dapat mempertahankan flavor dan aroma bahan dasar (Risnoyatiningsih, 2008).

Mekanisme proses hidrolisa pati dengan enzim (BeMiller, 2009) yakni sebagai berikut:



**Gambar II. 2 Mekanisme Proses Hidrolisis Pati dengan Menggunakan Enzim**

- (1) Larutan pati dengan kandungan sebesar 30 - 35% padatan dicampur dengan katalisator  $\text{CaCl}_2$ . Penambahan  $\text{CaCl}_2$  bertujuan untuk menjaga stabilitas enzim dengan kadar  $\text{Ca}^{2+}$  maksimal 70 ppm.
- (2) Hasil pencampuran diumpankan ke dalam *jet cooker* untuk dilakukan pemanasan sampai  $193\text{ }^\circ\text{F}$  ( $95\text{ }^\circ\text{C}$ ) dengan pH 6 - 6,5 selama 3 – 5 menit. Setelah itu larutan pati dialirkan ke dalam reaktor likuifikasi dengan penambahan enzim *α-amilase* pada suhu  $95\text{ }^\circ\text{C}$ , dengan tekanan 1 atm, pH 6 – 6,5 dan waktu operasi 2 jam. Dimana perbandingan pati dan enzim yang digunakan adalah 1 : 0,7 Pada suhu tinggi, enzim *α-amilase* ditambahkan dan dibutuhkan agar proses gelatinasi pati berjalan sempurna. Pada proses ini, diperoleh larutan dengan angka ekivalen dekstrosa (DE) sekitar 20.
- (3) Larutan pati dari reaktor likuifikasi dialirkan ke dalam tangki sakarifikasi dengan penambahan enzim *glukoamilase*. Perbandingan pati dan enzim yang digunakan adalah 1 : 0,75. Proses sakarifikasi berjalan pada suhu  $95\text{ }^\circ\text{C}$ , membutuhkan waktu 24 jam, dengan pH 4,5 akan menghasilkan larutan dengan kandungan 95% glukosa.
- (4) Setelah itu, larutan glukosa diumpankan ke dalam kolom bed karbon aktif untuk penyerapan warna dari larutan glukosa. Setelah dijernihkan dengan



karbon aktif, larutan glukosa difiltrasi untuk memisahkan arang aktif dan *impurities* yang melekat pada larutan glukosa. Kemudian dilakukan demineralisasi melalui kolom *ion exchanger* sebelum dilakukan pemekatan sirup glukosa menggunakan evaporator (BeMiller, 2009).

## II.2 Seleksi Pemilihan Proses

Berdasarkan uraian macam proses diatas, maka dapat ditabelkan perbandingan masing-masing proses. Adapun uraian – uraian pertimbangan dalam pemilihan proses yang akan digunakan sebagai berikut:

**Tabel II. 1. Perbandingan Hidrolisis Asam Dengan Hidrolisis Enzim**

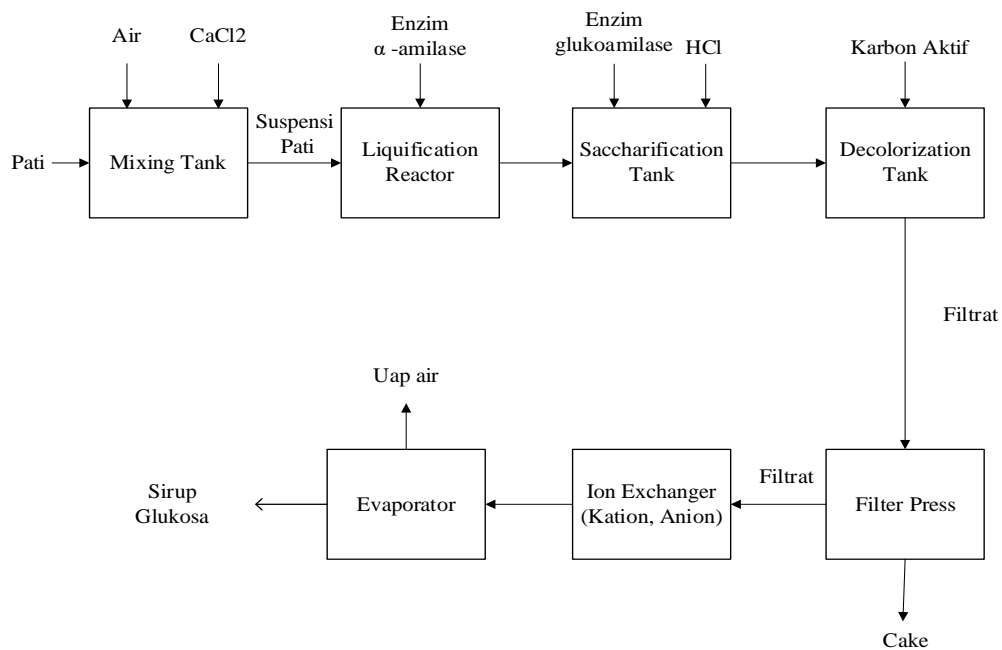
No	Parameter	Hidrolisis Asam	Hidrolisis Enzim	Referensi
1.	Suhu Operasi	Membutuhkan suhu lebih tinggi (140 - 160 °C)	Membutuhkan suhu lebih rendah. Likuifikasi: 95 °C Sakarifikasi: 60 °C	<b>Hidrolisis Asam:</b> (BeMiller, 2009) <b>Hidrolisa Enzim:</b> ( BeMiller, 2009)
2.	Tekanan operasi	5,4 atm	1 atm	(BeMiller, 2009)
3	Penambahan Senyawa Pendukung	Senyawa asam (HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) Asam terbaik: HCl	Enzim ( $\alpha$ -amilase dan glukoamilase)	<b>Hidrolisa Asam:</b> (Dewi dkk, 2018) <b>Hidrolisa enzim:</b> (BeMiller, 2009)
4.	Rendemen	± 55%	± 94%	(Sutamihardja dkk, 2017)

Berdasarkan tabel II.1, dapat disimpulkan bahwa, dipilihlah proses hidrolisis pati menjadi glukosa menggunakan metode hidrolisis enzim dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Pada hidrolisis enzim, konversi atau angka DE yang dicapai sangat tinggi yakni 95 – 98% yang dapat menyebabkan rasa sangat manis. sedangkan pada hidrolisis asam DE yang dicapai 30 - 55%, apabila diteruskan akan menimbulkan rasa pahit.
- Kondisi operasi (tekanan dan suhu operasi yang lebih aman dan membutuhkan energi yang lebih sedikit).
- Biaya bahan peralatan murah dan perawatan tidak terlalu susah

Dapat dilihat bahwa, pada proses hidrolisis enzim lebih menguntungkan dibanding proses hidrolisis asam. Dalam aplikasi di pabrik sendiri lebih banyak menggunakan proses hidrolisis enzim dibandingkan hidrolisis asam karena dilihat dari segi ekonomi, biaya yang dikeluarkan lebih sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrolisis asam kurang efisien untuk dipakai sebagai proses dalam pembuatan glukosa.

### II.3 Uraian Proses



**Gambar II. 3 Mekanisme Proses Pembuatan Sirup Glukosa**

Pembuatan pra rencana pabrik sirup glukosa ini dapat dilihat secara lengkap pada flowsheet yang tertera. Tahapan-tahapan pembuatan sirup glukosa dibagi



menjadi 6 tahapan, antara lain:

1. Proses Gelatinasi
2. Proses Likuifikasi
3. Proses Sakarifikasi
4. Proses Pemurnian dan Pemekatan
5. Proses Finishing

Proses pembuatan sirup glukosa dari bahan baku pati diawali dengan mengubah pati (polisakarida) menjadi monomer – monomernya (monosakarida) dalam bentuk sirup glukosa.

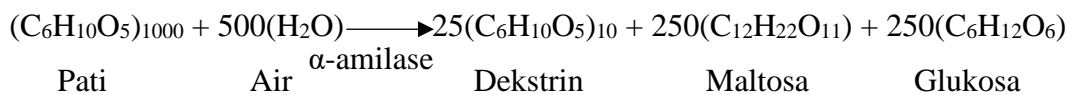
### **1. Proses Gelatinasi**

Bahan baku tepung tapioka dengan kadar pati 87,95%, kadar air 11,10%, kadar protein 0,27%, kadar lemak 0,10%, dan kadar abu 0,58% dari Gudang penyimpanan pati (F-110) kemudian diumpankan dengan menggunakan screw conveyor (J-111) menuju bucket elevator (J-112) menuju hopper pati singkong (F – 113) tangki *mixing* (M-130). Dalam tangki *mixing*, tepung tapioka dicampur dengan air dan  $\text{CaCl}_2$  dari hopper penyimpanan  $\text{CaCl}_2$  (F-114), sehingga menghasilkan suspensi pati kadar 35%. Fungsi dari penambahan  $\text{CaCl}_2$  adalah sebagai stabilisator serta menciptakan kondisi optimum bagi kerja enzim dengan konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 70 mg/L. Tangki *mixing* (M-130) dilengkapi dengan pengaduk agar pencampuran merata dengan waktu operasi diperkirakan selama 1 jam pada tekanan 1 atm dan suhu 30°C. Campuran tersebut kemudian membentuk suspensi pati dan suspensi pati yang telah tercampur dialirkan menggunakan pompa sentrifugal (L-131) menuju jet cooker (E-132). Proses ini bertujuan untuk memanaskan suspensi pati singkong sampai terbentuk gelatin pati dengan menginjeksikan steam jenuh ke dalam aliran selama 5-10 menit. Gelatinisasi merupakan proses pemecahan ikatan molekuler dari molekul pati dengan menggunakan air dan panas. Penetrasi air meningkatkan sistem acak pada struktur umum dan menurunkan jumlah dan ukuran kristal dari granula pati. Selain itu, jet cooker juga bertujuan untuk menaikkan suhu dari suspensi pati. Aliran keluar dari jet cooker pada suhu 95°C menuju reaktor liquifikasi (R-210).



## 2. Proses Likuifikasi

Setelah proses gelatinasi selesai, gelatin pati diumpankan menuju reaktor likuifikasi (R-210) untuk proses dekstrinasi (likuifikasi). Reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaktor likuifikasi dilengkapi dengan pengaduk agar suhu dalam reaktor tetap merata dan kondisi suhu pada reaktor sebesar 95°C dengan tekanan 1 atm. Suhu operasi sebesar 95°C yang mana suhu ini merupakan suhu optimal dari enzim  $\alpha$ -amilase untuk menghidrolisis pati. Dalam proses likuifikasi menggunakan enzim  $\alpha$ -amilase untuk menghidrolisis pati dengan memutus ikatan  $\alpha$ -1,4 glukosa secara acak baik pada amilosa maupun amilopektin menjadi dekstrin, maltosa, dan glukosa. Enzim  $\alpha$ -amilase yang ditambahkan pada reaktor ini yaitu sebesar 0,70 L/ton pati kering. Enzim  $\alpha$ -amilase bekerja optimum pada pH 5-6. Cairan pati yang masuk kedalam reaktor likuifikasi memiliki pH  $\pm 6$ . Proses dekstrinasi ini dilakukan selama 2 jam. Hasil hidrolisis adalah pati terkonversi hingga 20% menjadi dekstrin. Reaksi yang terjadi pada proses likuifikasi ialah :



Reaksi yang terjadi bersifat endotermis sehingga reaktor diberi jaket pemanas untuk supply steam yang dapat mempertahankan kondisi suhu didalam reaktor. Dari reaktor likuifikasi (R-210), larutan dekstrin dialirkan menggunakan pompa (L-211) menuju cooler (E-212) untuk didinginkan hingga suhu keluaran 60°C yang kemudian diumpankan ke reaktor sakarifikasi (R-220).

## 3. Proses Sakarifikasi

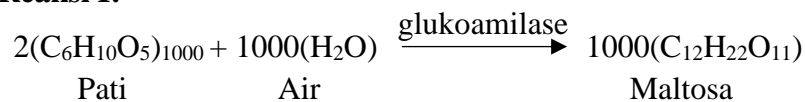
Dari reaktor likuifikasi (R-210) larutan dekstrin dialirkan menuju reaktor sakarifikasi (R-220). Cairan pati yang masuk kedalam reaktor sakarifikasi memiliki pH  $\pm 6$ . Reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaktor sakarifikasi dilengkapi dengan pengaduk agar suhu dalam reaktor tetap merata dan kondisi suhu pada reaktor sebesar 60°C dengan tekanan 1 atm. Suhu operasi 60°C yang mana suhu ini merupakan suhu optimal dari aktivitas enzim



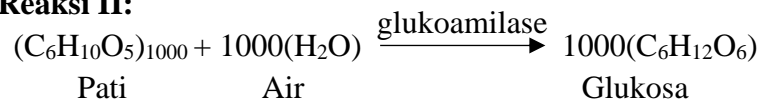


glukoamilase. Reaktor sakarifikasi berfungsi mengkonversi dekstrin dan sisa pati menjadi glukosa dengan penambahan enzim glukoamilase (amiloglukosidase). Enzim glukoamilase yang digunakan pada proses ini yaitu sebesar 0,75L/ton pati kering. Enzim glukoamilase bekerja optimum pada pH 4-5. Kondisi operasi dalam reaktor akan berlangsung dalam suasana asam, jika pH yang terjadi lebih besar daripada kondisi operasi optimum maka ditambahkan larutan HCl 37%. Larutan HCl 37% dari tangki penyimpanan (F-120) dipompa (L-121) menuju reaktor. Proses sakarifikasi berlangsung selama 24 jam dengan tekanan 1 atm. Hasil proses sakarifikasi adalah dekstrin dan sisa pati terkonversi hingga 98% menjadi glukosa yang kemudian disebut sirup glukosa. Reaksi yang terjadi pada proses sakarifikasi ialah:

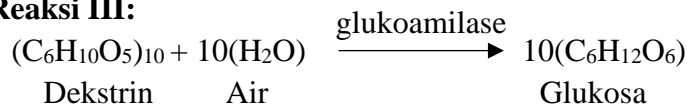
**Reaksi I:**



**Reaksi II:**



**Reaksi III:**



Reaksi yang terjadi bersifat endotermis sehingga reaktor diberi jaket pemanas untuk supply steam yang dapat mempertahankan kondisi suhu didalam reaktor. Setelah dari reaktor sakarifikasi, Sirup glukosa dialirkan oleh pompa (L-221) menuju tangka karbonatasi (D-230) untuk proses pemucatan larutan glukosa (dekolorisasi).

#### 4. Proses Pemurnian dan Pemekatan

Setelah dari reaktor sakarifikasi, larutan glukosa yang juga disebut sirup glukosa dipompa (L-221) menuju tangki karbonatasi (D-230) terjadi proses dekolorisasi atau penyerapan warna dari larutan glukosa dengan menggunakan media penyerap karbon aktif. Karbon aktif memiliki kemampuan untuk membebaskan larutan glukosa dari kotoran yang tidak diinginkan. Karbon aktif



bentuk serbuk ukuran 60-80 mesh. Ditentukan jumlah karbon aktif yang ditambahkan sebanyak 10 kg/1000 kg larutan glukosa. Setelah dijernihkan dengan karbon aktif, larutan glukosa dipompa (L-231) menuju Filter Press (H-240) dalam suhu 60°C untuk memisahkan cake dan komponen impuritis yang melekat pada larutan glukosa. Setelah proses penyaringan, larutan glukosa dipompa menuju *Ion Exchanger* dengan menggunakan pompa (L-241) demineralisasi untuk menghilangkan pengotor yang terkandung pada larutan sirup glukosa, seperti ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari  $\text{CaCl}_2$  dan ion  $\text{Cl}^-$  dari  $\text{HCl}$ .  $\text{HCl}$  harus dihilangkan sebelum masuk ke evaporator karena bersifat korosif dan mengganggu proses pemurnian sirup glukosa. Proses ini dilakukan di dalam vessel kation exchanger (D-250) yang berisi resin yang telah diaktivasi, kemudian dialirkan menuju anion exchanger (D-260) dengan menggunakan pompa (L-241). Sirup glukosa yang dihasilkan dipompa (L-261) menuju evaporator (V-310) untuk dipekatkan hingga konsentrasi larutan glukosa sebesar 75% dan dengan penguapan vakum 0,4736 atm dan bersuhu 80°C agar warna larutan glukosa tidak berwarna coklat. Uap air yang keluar dari evaporator dialirkan kedalam barometric kondensor (E-311) untuk diubah dari fase uap menjadi fase liquid. Uap air yang terkondensasi dialirkan langsung ke unit *steam condensate* yaitu Hot Well (F-313), sedangkan yang tidak terkondensasi dipompa dengan steam jet ejector (G-312) untuk menurunkan tekanan dalam evaporator sehingga terjadi vacuum. Setelah dipekatkan, kemudian dialirkan menuju cooler (E-315) dengan menggunakan pompa (L-314).

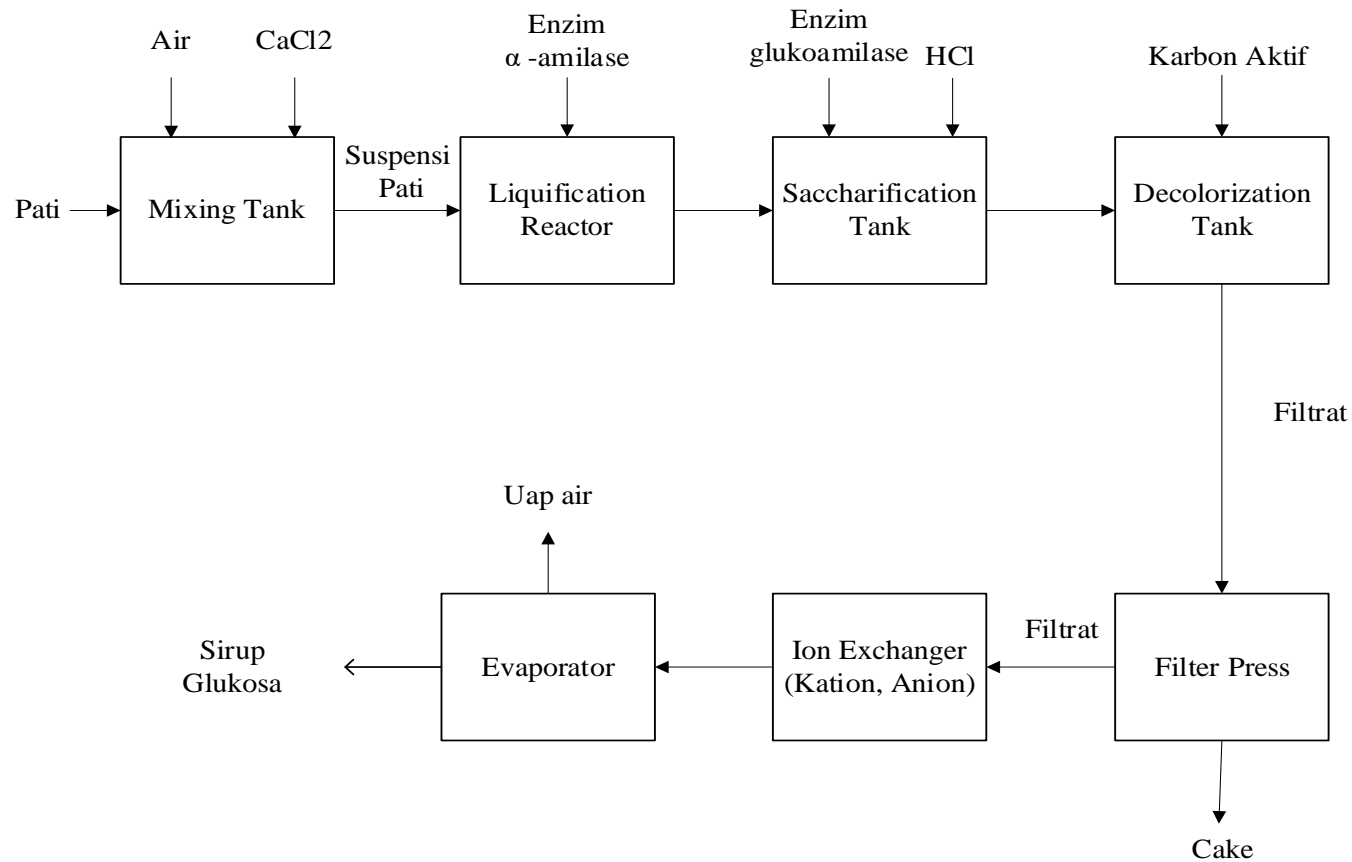
## 5. Proses Finishing

Sirup glukosa didinginkan dalam cooler (E-315) hingga suhu 40 °C lalu disimpan di tangki penyimpanan produk (F-320). Tangki penyimpanan produk berfungsi untuk menyimpan produk sirup glukosa yang dihasilkan, dengan waktu penyimpanan 7 hari. Selanjutnya produk sirup glukosa akan dibawa ke bagian pengemas dan disimpan pada gudang penyimpanan untuk siap dipasarkan.



### II.3.1 Blok Diagram Alir

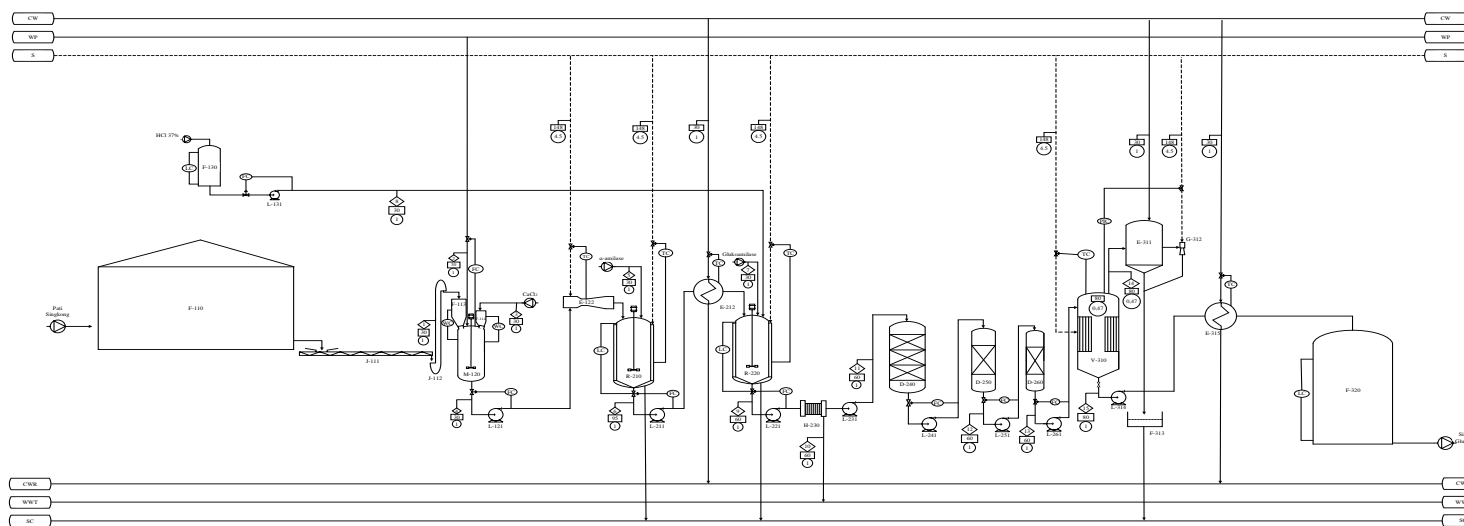
#### PRA RENCANA PABRIK SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES HIDROLISIS ENZIMATIS





Pra Rencana Pabrik  
 “Pabrik Sirup dari Tepung Tapioka Dengan Proses Hidrolisis Enzimatis  
 Kapasitas 40.100 Ton/Tahun ”

II.3.2 Flowsheet Pengembangan Pabrik



Komponen	Aliran Massa (kg/jam)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pati	3566,8277			3566,8277		2853,4621			57,0692	57,0692					
Air	450,1624	6173,9461		6624,1085		6584,4786			6259,0216	125,1804					
Protein	10,9499			10,9499		10,9499			10,9499	10,9499					
Lemak	4,0555			4,0555		4,0555			4,0555	4,0555					
Abu	23,5220			23,5220		23,5220			23,5220	23,5220					
CaCl <sub>2</sub>			1,2840	1,2840		1,2840			1,2840	0,0257	1,2583				
MgCl <sub>2</sub>			0,0013	0,0013		0,0013			0,0013	0,000026	0,0013				
NaCl			0,0249	0,0249		0,0249			0,0249	0,0005	0,0244				
Enzim α-amilase					3,1210	3,1210			3,1210	3,1210					
Enzim Glukoamilase							2,4611		2,4611	2,4611					
Larutan HCl 37%								27,3347	27,3347		27,3347	28,1777			
Dekstrin (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>10</sub>						178,3414			3,5668	0,0713	3,4955	3,4955			3,4955
Maltosa (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )						376,4977			465,0500	9,3010	455,7490	455,7490	455,7490		455,7490
Glukosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )						198,1564			3406,2286	68,1246	3338,1040	3338,1040	3338,1040		3338,1040
Uap Air														4881,9806	4881,9806
<b>Total</b>	<b>4055,5175</b>	<b>6173,9461</b>	<b>1,3102</b>	<b>10230,7738</b>	<b>3,1210</b>	<b>10233,8948</b>	<b>2,4611</b>	<b>27,3347</b>	<b>10263,6906</b>	<b>303,8823</b>	<b>9959,8083</b>	<b>9959,3673</b>	<b>9945,1119</b>	<b>4881,9806</b>	<b>5063,1313</b>

KETERANGAN:

	Temperature : °C
	Aliran Massa : kg/jam
	Tankas : mm
	Steam
	Heat Exchanger
	Cooling Water
	Cooling Water Return
	Water Process
	Waste Water Treatment

30	F-320	Tangki Penyimpanan Sirup Glukosa
29	E-315	Cooler - 2
28	L-314	Pompa Sentrifugal-9
27	F-313	Hot Well Evaporator
26	Gr-312	Steam Jet Ejector
25	E-311	Barometrik Kondensator
24	V-310	Evaporator
23	L-294	Pompa Sentrifugal-8
22	D-290	Anion Exchanger
21	L-254	Pompa Sentrifugal-7
20	D-250	Kation Exchanger
19	L-241	Pompa Sentrifugal - 6
18	H-240	Tangki Karbonisasi
17	L-231	Pompa Sentrifugal - 5
16	D-230	Fiber Press
15	L-221	Pompa Sentrifugal - 4
14	R-220	Reaktor Sakarifikasi
13	E-212	Cooler
12	L-211	Pompa Sentrifugal - 3
11	R-210	Reaktor Lakrifikasi
10	L-111	Pompa Sentrifugal - 2
9	F-130	Tangki Penyimpanan HCl
8	E-122	Jet Cooler
7	L-121	Pompa Sentrifugal - 1
6	M-120	Tangki Maltosa
5	F-114	Hopper CaCl <sub>2</sub>
4	F-113	Hopper MgCl <sub>2</sub>
3	J-112	Bucket Elevator
2	J-111	Screw Conveyor
1	F-110	Gudang Penyimpanan Tepung Tapioka
No.	Kode Alat	Nama Alat

Flowsheet Pabrik Sirup Gula Gula dari Tepung Tapioka dengan Proses Hidrolisis Enzimatis Kapasitas 40.100 Ton/Tahun

DIGAMBAR OLEH: NABILLA BALINI PUTRI  
 NPM : 090100020

DOSEN PEMBIMBING : DR. LUCKY INDRATI UTAMAH MT

TTD :

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
 UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"  
 JAWA TIMUR  
 2024