



BAB II

URAIAN DAN PEMILIHAN PROSES

II.1 Macam-macam Proses

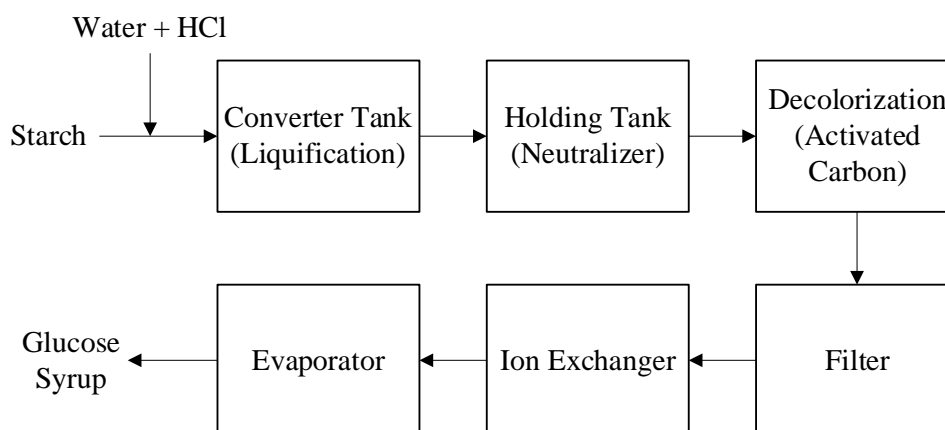
Dalam memproduksi sirup glukosa yang optimal dan memenuhi kriteria baik dari segi teknis maupun ekonomi, perlu ditinjau bagaimana proses dalam pengolahan bahan baku sampai menjadi produk. Terdapat dua proses yang dapat dilakukan untuk menghidrolisa pati sehingga menghasilkan glukosa, yaitu:

- 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 H₂SO₄. Pada hidrolisa pati dengan asam, diperlukan suhu tinggi yaitu 140°C- 160°C dan tekanan 5,4 atm. Asam akan memecah molekul pati secara acak dan gula yang dihasilkan sebagian besar adalah gula pereduksi. Pada pembuatan glukosa, hidrolisa asam menghasilkan konversi yang rendah yaitu 55% jika dibandingkan dengan hidrolisa enzim (Said, 1987).

Mekanisme proses hidrolisa pati dengan asam yakni sebagai berikut:



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



PRA RENCANA PABRIK
“SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 40000 TON/TAHUN ”

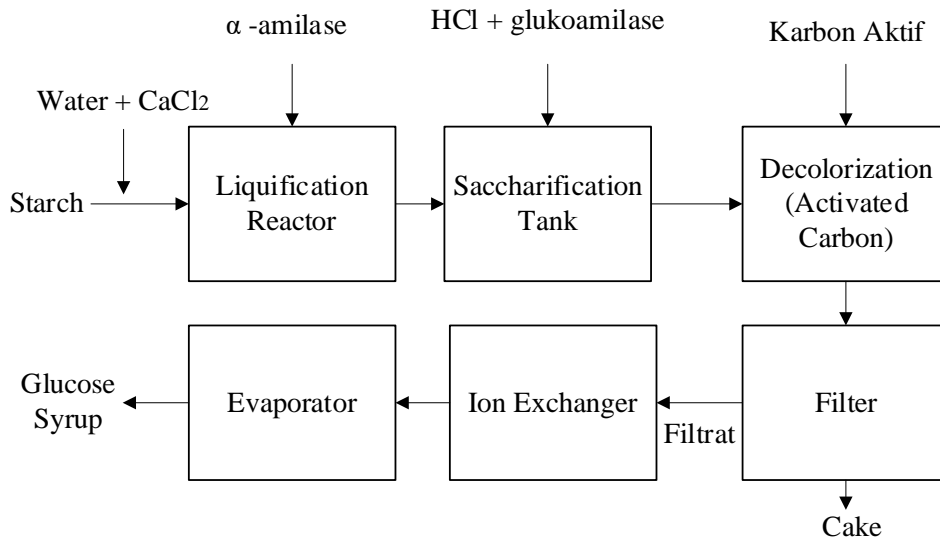
- (1) Bahan baku berupa slurry yang mengandung 45 – 55% padatan pati dipompa ke dalam tangki *converter* dan ditambahkan larutan asam klorida untuk menjaga pH sampai 2 agar terjadi proses hidrolisis.
- (2) Larutan dipanaskan di dalam tangki *converter* hingga mencapai suhu operasi 140 – 160 °C dengan tekanan sebesar 5,4 atm. Untuk memperoleh angka ekivalen dekstrosa (DE) yang tinggi, waktu tinggal dalam tangki selama 15 – 20 menit.
- (3) Setelah mencapai konversi yang sesuai, hasil proses hidrolisa ditampung dalam tangki *neutralizer* dengan menambahkan *neutralizing agent* (umumnya Na_2CO_3) untuk menaikkan pH sampai 4,5 – 5.
- (4) 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 α -amilase dan enzim *glukoamilase (amiloglukosidase)*. Enzim α -amilase digunakan pada proses likuifikasi, sedangkan glukoamilase 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 (Winarno, 1986). Mekanisme proses hidrolisa pati dengan enzim (BeMiller, 2009) yakni sebagai berikut:



PRA RENCANA PABRIK
“SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 40000 TON/TAHUN ”



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

- (1) Larutan pati dengan kandungan sebesar 35% padatan dicampur dengan katalisator CaCl_2 . Penambahan CaCl_2 bertujuan untuk menjaga stabilitas enzim.
- (2) Hasil pencampuran diumpankan ke dalam *jet cooker* untuk dilakukan pemanasan sampai 193°F (95°C) selama 3 – 5 menit. Setelah itu larutan pati dialirkan ke dalam reaktor likuifikasi dengan suhu 95°C untuk mengalami proses hidrolisa selama 2 jam dengan penambahan enzim *α-amilase*. Pada suhu tinggi, enzim *α-amilase* ditambahkan dan dibutuhkan agar proses gelatinasi pati berjalan sempurna. Pada proses ini, diperoleh larutan dengan angka ekivalen dekstroza (DE) sekitar 12.
- (3) Larutan pati dari reaktor likuifikasi dialirkan ke dalam tangki sakarifikasi dengan penambahan enzim *glukoamilase*. Proses sakarifikasi berjalan pada suhu 95°C dan membutuhkan waktu 24 jam dan menghasilkan larutan dengan kandungan 94% 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



PRA RENCANA PABRIK
“SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 40000 TON/TAHUN ”

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	Hidrolisis Asam: (BeMiller, 2009) Hidrolisa Enzim: (BeMiller, 2009)
2.	Tekanan operasi	5,4 atm	1 atm	(BeMiller, 2009)
3	Penambahan Senyawa Pendukung	Senyawa asam (HCl, H ₂ SO ₄) Asam terbaik: HCl	Enzim (α -amilase dan glukoamilase)	Hidrolisa Asam: (Dewi dkk, 2018) Hidrolisa enzim: (BeMiller, 2009)
4.	Rendemen	$\pm 55\%$	$\pm 98\%$	(Sutamihardja dkk, 2017)

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

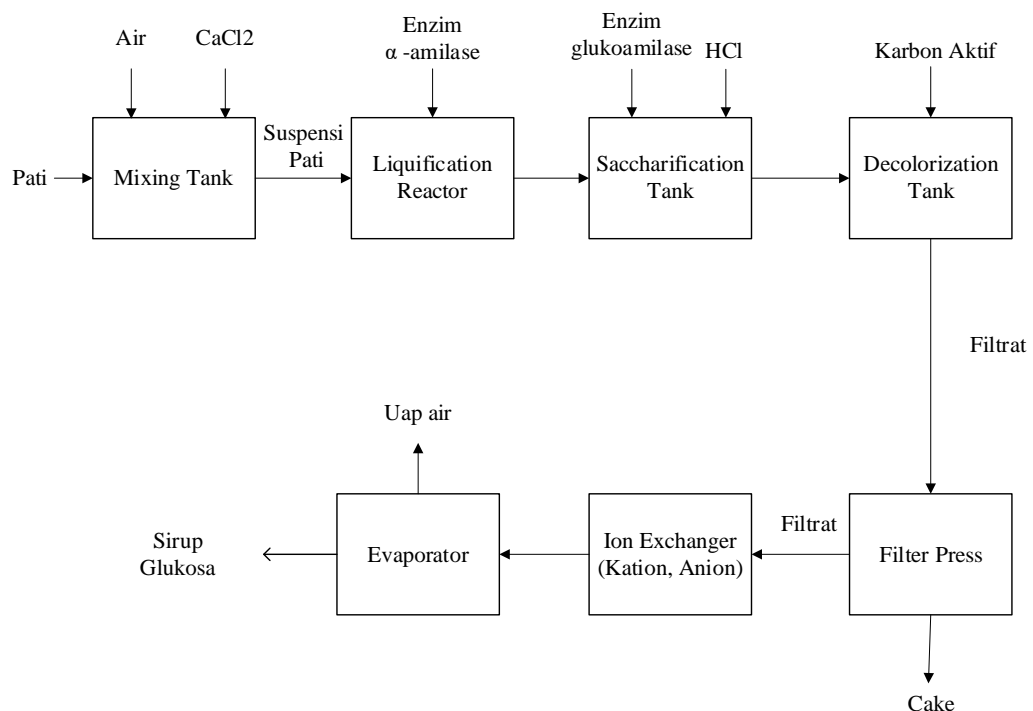


PRA RENCANA PABRIK
“SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 40000 TON/TAHUN ”

- 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 dan mengandung banyak warna pada sirup.
- Kondisi operasi (tekanan dan suhu operasi yang lebih aman dan membutuhkan energi yang lebih sedikit).
- Biaya bahan peralatan murah dan perawatan yang sederhana.

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



PRA RENCANA PABRIK
“SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 40000 TON/TAHUN ”

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.

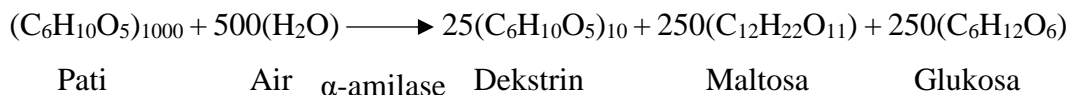
1. Proses Gelatinasi

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), lalu bucket elevator (J-112) menuju tangki *mixing* (M-114). Dalam tangki *mixing*, tepung tapioka dicampur dengan air dan CaCl_2 dari hopper penyimpanan CaCl_2 (F-115), sehingga menghasilkan suspensi pati kadar 35%. Fungsi dari penambahan CaCl_2 adalah sebagai stabilisator serta menciptakan kondisi optimum bagi kerja enzim dengan konsentrasi Ca^{2+} sebesar 70 mg/L. Tangki *mixing* (M-114) 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-116) menuju jet cooker (E-117). Proses ini bertujuan untuk memanaskan suspensi pati singkong sampai terbentuk gelatin pati dengan menginjeksikan steam jenuh ke dalam aliran selama 5-10 menit. Selain itu, jet cooker juga bertujuan untuk menaikkan suhu dari suspensi pati. Aliran keluar dari jet cooker pada suhu 95°C menuju reaktor likuifikasi (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 α -amilase untuk menghidrolisis pati. Dalam proses likuifikasi menggunakan enzim α -amilase untuk menghidrolisis pati menjadi dekstrin, maltose, dan glukosa. Enzim α -amilase yang ditambahkan pada reaktor ini yaitu sebesar 0,70L/ton pati kering. Enzim α -amilase bekerja optimum pada pH 5-6. Cairan pati yang masuk kedalam reaktor likuifikasi memiliki pH ± 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).

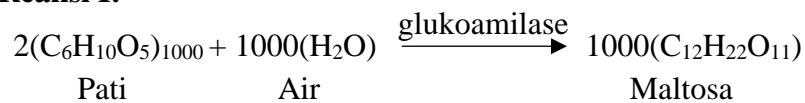
3. Proses Sakarifikasi

Dari reaktor likuifikasi (R-210) larutan dekstrin dialirkan menuju reaktor sakarifikasi (R-220). Cairan pati yang masuk kedalam reaktor sakarifikasi memiliki pH ± 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 glukamilase. Reaktor sakarifikasi berfungsi mengkonversi dekstrin dan sisa pati

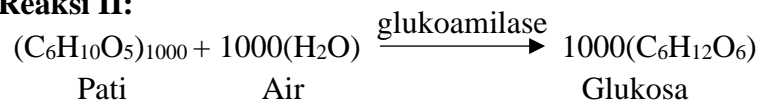


menjadi glukosa dengan penambahan enzim glukoamilase (amiloglukosidase). Enzim glukoamilase yang digunakan pada proses ini yaitu sebesar 0,75L/ton pati kering. Enzim glukoamilase bekerja optimum pada pH 4-5. Kondisi operasi dalam reaktor akan berlangsung dalam suasana asam, jika pH yang terjadi lebih 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:

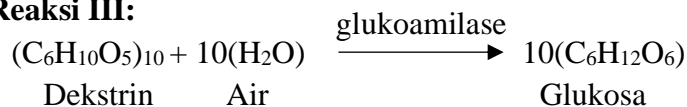
Reaksi I:



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, larutan 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 Ca^{2+} dari CaCl_2 dan ion Cl^- dari HCl . 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-252) dengan menggunakan pompa (L-251). Sirup glukosa yang dihasilkan dipompa (L-253) menuju evaporator (V-260) 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-261) untuk diubah dari fase uap menjadi fase liquid. Uap air yang terkondensasi dialirkan langsung ke unit *steam condensate* yaitu Hot Well (F-263), sedangkan yang tidak terkondensasi dipompa dengan steam jet ejector (G-262) untuk menurunkan tekanan dalam evaporator sehingga terjadi vacuum. Setelah dipekatkan, kemudian dialirkan menuju cooler (E-265) dengan menggunakan pompa (L-264).

5. Proses Finishing

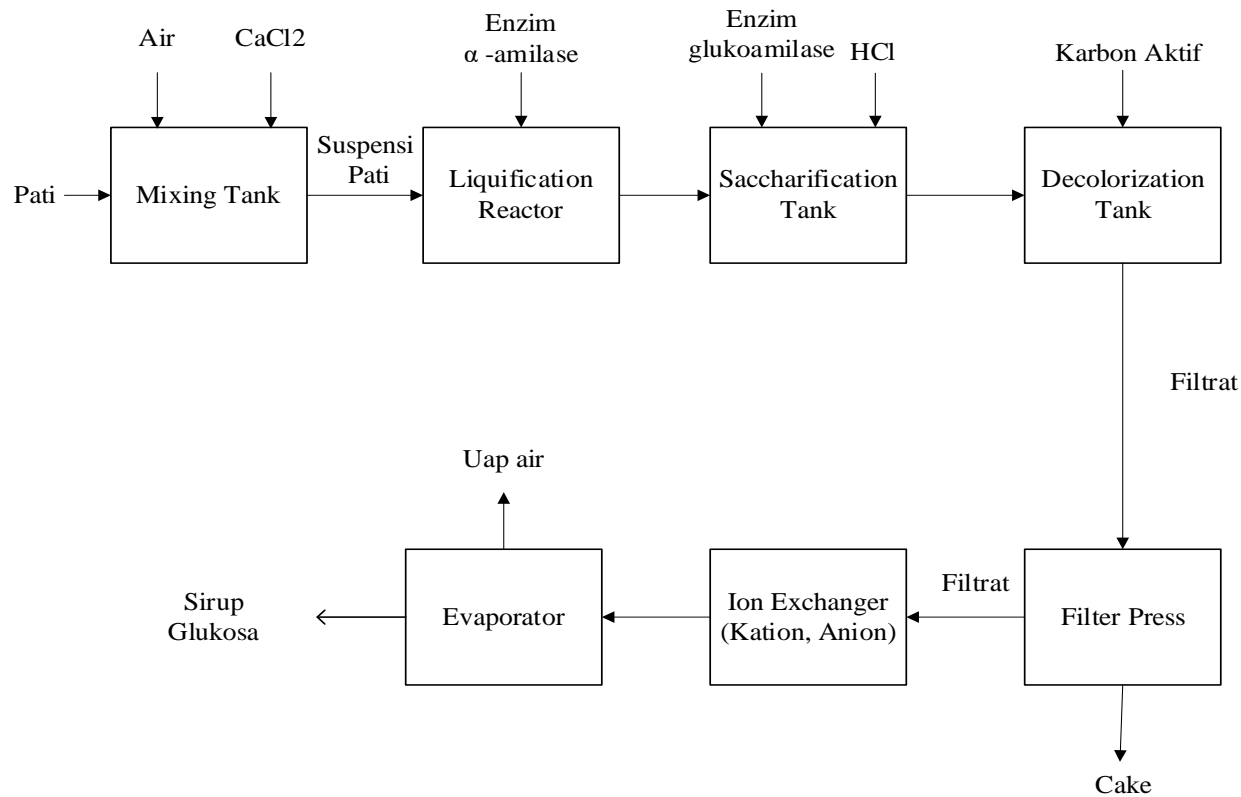
Sirup glukosa didinginkan dalam cooler (E-265) hingga suhu 30 °C lalu disimpan di tangki penyimpanan produk (F-266). Tangki penyimpanan produk berfungsi untuk menyimpan produk sirup glukosa yang dihasilkan, dengan waktu penyimpanan 7 hari. Selanjutnya produk sirup glukosa akan dibawa ke bagian pengemas dan disimpan pada gudang penyimpanan untuk siap dipasarkan.



PRA RENCANA PABRIK
“SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 40000 TON/TAHUN ”

II.3.1 Blok Diagram Alir

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

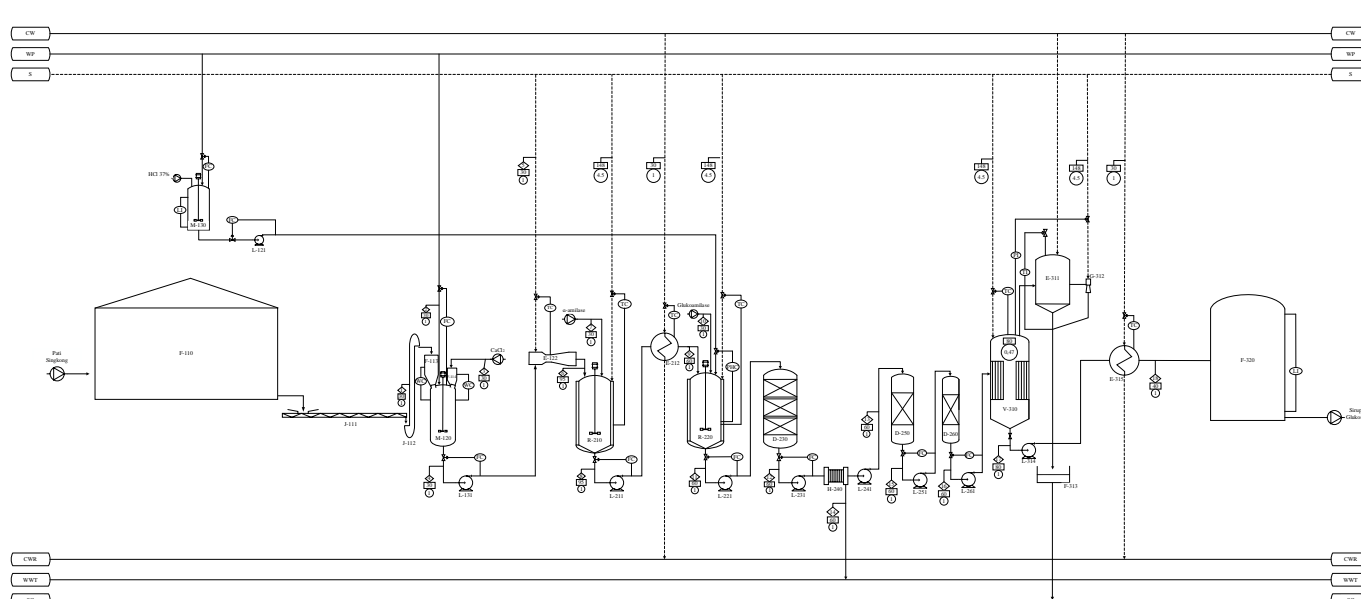




PRA RENCANA PABRIK
“SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 40000 TON/TAHUN ”

II.3.2 Flowsheet Pengembangan Pabrik

PRA RANCANGAN PABRIK SIRUP GLUKOSA DARI TEPUNG TAPIOKA DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIMATIS



KETERANGAN:

- Temperatur : °C
- ◇ Aliran Massa (kg/jam)
- Tekanan : atm
- S Steam
- SC Steam Condensate
- CW Cooling Water
- CWR Cooling Water Return
- WP Waste Process
- WWT 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	G - 312	Steam Jet Ejector
25	E - 311	Barometrik Kondensator
24	V - 310	Evaporator
23	L - 261	Pompa Sentrifugal-8
22	D - 260	Anion Exchanger
21	L - 251	Pompa Sentrifugal-7
20	D - 250	Kation Exchanger
19	L - 241	Pompa Sentrifugal - 6
18	H - 240	Filter Press
17	L - 231	Pompa Sentrifugal - 5
16	D - 230	Tangki Karbonatasi
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 Laktifikasi
10	L - 131	Pompa Sentrifugal - 2
9	M - 130	Tangki Mixing HCl
8	E - 122	Jet Cooker
7	L - 121	Pompa Sentrifugal - 1
6	M - 120	Tangki Mixing
5	F - 114	Hopper Cat 2
4	F - 113	Hopper Pati Singkong
3	J - 112	Bucket Elevator
2	J - 111	Screw Conveyer
1	F - 110	Gudang Penyimpanan Tepung Tapioka

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	6133,8411	125,1804	6133,8411	6147,7634	1265,7828	1265,7828	
Protein	10,9499			10,9499		10,9499		10,9499	10,9499	10,9499	10,9499	10,9499	10,9499	10,9499	
Lemak	4,0555			4,0555		4,0555		4,0555	4,0555	4,0555	4,0555	4,0555	4,0555	4,0555	
Abu	23,5220			23,5220		23,5220		23,5220	23,5220	23,5220	23,5220	23,5220	23,5220	23,5220	
CaCl ₂			1,2840	1,2840		1,2840		1,2840	1,2583	0,0257					
MgCl ₂			0,0013	0,0013		0,0013		0,0013	0,0013	0,00026					
NaCl			0,0249	0,0249		0,0249		0,0249	0,0249	0,0045					
Enzim α-amilase					3,1210	3,1210		3,1210	3,1210	3,1210					
Enzim Glukoamilase						2,4611		2,4611	2,4611	2,4611					
Larutan HCl 37%							27,3347	27,3347	27,3347	28,1777					
Dekstrin (C ₆ H ₁₀ O ₅) ₁₀					3,5668	3,4955		3,5668	3,4955	0,0713	3,4955	3,4955	3,4955	3,4955	
Maltosa (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)					376,4977	465,0500		376,4977	465,0500	9,3010	455,7490	455,7490	455,7490	455,7490	
Glukosa (C ₆ H ₁₂ O ₆)					198,1564	3406,2286		198,1564	3406,2286	3338,1040	68,1246	3338,1040	3338,1040	3338,1040	3338,1040
Uap Air													4881,9806		
Total	4055,5175	6173,9461	1,3102	10230,7738	3,1210	10233,8948	2,4611	27,3347	10263,6906	9959,8083	303,8823	9959,3673	9945,1119	9945,1119	5063,1313

NO : _____

KODE ALAT : _____

NAMA ALAT : _____

DISAMBAH : ARIGUNO WIDAYANA
NPM : 190300206

DOSEN PEMBIMBING : DR. LUCKY INDRATI UTAMI, MT

TTD : _____

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
302