

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Bahan Baku

Pada tahun 1811, ilmuwan Jerman Gottlieb Sigismund Constantin Krichhoff mendirikan pembuatan sirup glukosa untuk pertama kalinya. Ada banyak bahan baku sirup glukosa, antara lain tepung maizena, beras, kentang, tapioka, akar dan sagu. Glukosa dibuat dari pati melalui proses hidrolisis, yang dimana mengubah pati menjadi dextrin atau sirup glukosa tergantung tingkat dekomposisi (Dziedzic S Z, 1995).

2.1.1.1 Singkong

Komponen utama singkong atau ubi kayu adalah pati, yaitu sekitar 80% dari bobot. Komponen karbohidrat lain adalah gula sederhana, yaitu glukosa, sukrosa dan fruktosa, 1-3% dari bobot biji. Pati terdiri atas dua jenis polimer glukosa, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan rantai unit-unit D-glukosa yang panjang dan tidak bercabang, digabungkan oleh ikatan $\alpha(1\rightarrow4)$, sedangkan amilopektin strukturnya bercabang. Ikatan glikosidik yang menggabungkan residu glukosa yang berdekatan dalam rantai amilopektin adalah ikatan $\alpha(1\rightarrow4)$, tetapi titik percabangan amilopektin merupakan ikatan $\alpha(1\rightarrow6)$. Bahan yang mengandung amilosa tinggi, jika direbus amilosanya terekstrak oleh air panas, sehingga terlihat warna putih seperti susu (Richana, 2006)



Gambar 2. 1 Ubi Kayu/Singkong

2.1.2 Bahan Pendukung

2.1.2.1 Enzim α -Amilase Optitherm

Enzim α -Amilase merupakan enzim yang aktif dalam proses likuifikasi. Enzim ini diproduksi oleh NOVO. Aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh suhu dan pH lingkungannya dan setiap enzim mempunyai kisaran suhu dan pH optimum yang berbeda. Enzim α -Amilase yang banyak beredar di pasaran mempunyai suhu optimum 103-105°C dengan pH aktivitas 5,0-6,5 dan pH optimum 6,0. (Richana N, 2000)

Cara kerja enzim α -Amilase melalui dua tahap. Pertama degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi ini terjadi sangat cepat, diikuti dengan menurunnya viskositas dengan cepat. Tahap kedua relatif lambat yaitu pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhirs secara tidak acak. Keduanya merupakan kerja Enzim α -Amilase pada molekul amilosa saja. Kerja enzim α -Amilase pada molekul amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa, dan berbagai jenis limit desktrin, yaitu oligosakarida yang terdiri atas empat atau lebih residu gula yang semuanya mengandung ikatan alfa-1,6glukosida. (Richana N, 2000)

Nama Dagang : Optitherm L – 420

Fase	: Cair
Kofaktor	: Ca^{2+} max 100 ppm
Suhu Optimum	: 90 – 95 °C
Lama Operasi	: 2-3 jam
pH Operasi	: 6-6,5
Dosis	: 0,5 – 0,8 kg/kg DS

2.1.2.2 Enzim Glukoamylase Optidex-L 300

Enzim *Glukoamylase* berperan dalam proses sakarifikasi. Aktivitas enzim ini juga dipengaruhi oleh pH dan suhu, dimana pH dan suhu optimumnya masing-masing pada kisaran 4,5-5 dan 60 0C. Enzim ini menghidrolisi ikatan 1,4glukosida dari pati dan oligosakarida menjadi unit-unit glukosa. Kecepatan hidrlosis bergantung pada panjang rantai molekul. Misalnya maltodekstroza dan oligosakarida dengan bobot molekul lebih tinggi akan dihidrolisis lebih cepat dari maltosa. Glukoamylase juga dapat menghidrolisis ikatan 1,6 glukosida. Enzim

yang akan digunakan dalam proses produksi sebaiknya ditampung terlebih dahulu pada tangki enzim, untuk memudahkan pengaturan dosis. (Richana N, 2000)

Nama Dagang	: Optidex-L 300
Berat Molekul	: 36.000 gr/mol
Suhu Optimum	: 60 °C
Lama Operasi	: 48-72 jam
pH Operasi	: 4-4,5

2.1.2.3 Asam Klorida (HCl) 32%

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida (HCl) yang merupakan asam kuat dan komponen utama dalam asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri. Asam klorida harus ditangani dengan memperhatikan aspek keselamatan yang tepat karena merupakan cairan yang sangat korosif. Asam klorida pekat akan membentuk kabut asam. Baik kabut dan larutan tersebut bersifat korosif terhadap jaringan tubuh, dengan potensi kerusakan pada organ pernapasan, mata, kulit, dan usus.

Sejak Revolusi Industri, senyawa ini menjadi sangat penting yang banyak digunakan untuk berbagai tujuan, meliputi produksi massal senyawa kimia organik seperti vinil klorida untuk plastik PVC dan MDI/TDI untuk poliuretana. Kegunaan kecil lainnya meliputi penggunaan dalam pembersih rumah, produksi gelatin, dan lain-lain. Sekitar 20 juta ton gas HCl diproduksi setiap tahun. pada abad ke-20 proses Leblanc digantikan dengan proses Slovay yang tidak menghasilkan asam klorida sebagai produk sampingan.

Berikut merupakan sifat-sifat asam klorida (HCl) dan kegunaannya, yaitu :

a. Sifat fisika

- Tidak berwarna
- Berbau tajam
- Density : 1,267 kg/liter
- Specific gravity : 1,16

- Titik didih : 83 °C (@760 mmHg)
- Titik leleh : - 46,2 °C

b. Sifat Kimia

- Larut dalam air dingin, air panas dan diethyl ether
- Korosif dan reaktif
- Kegunaan
- Digunakan sebagai aktivator
- Digunakan untuk menurunkan pH

2.1.2.4 Karbon aktif

Karbon aktif adalah karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga pori-porinya terbuka dengan demikian akan mempunyai daya serap yang tinggi. Karbon aktif merupakan karbon karbon yang berbentuk amorf yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas serta memiliki permukaan dalam (internal surface) sehingga mempunyai kemampuan daya serap yang baik. Keaktifan untuk menyerap tergantung pada jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85 – 95 % Karbon bebas (Mifbakhuddin, 2010)

Berikut merupakan sifat-sifat karbon aktif dan kegunaannya, yaitu :

a) Sifat Fisika

- Memiliki daya adsorptivitas yang tinggi
- Padatan berwarna hitam
- Melting point : 3500 °C
- Specific gravity : 3,51
- Berat molekul : 12,01 gram/mol

b) Sifat Kimia

- Tidak mudah larut dalam air

c) Kegunaan

- Digunaan untuk pemucatan

2.1.2.5 Kalsium Klorida (CaCl₂)

Penambahan CaCl_2 pada starch slurry yang mana merupakan kofaktor seperti Ca^{2+} berfungsi untuk mengaktifkan bakteri dari enzim α -amilase dengan kadar maksimum 100 ppm (Uhlig, 1998).

Berikut merupakan sifat-sifat dari CaCl_2 , yaitu :

a) Sifat fisika

- Berwarna putih
- Tidak berbau
- Berat molekul : 110,98 g/mol
- Specific gravity : 2,152
- Titik didih : $>1600^\circ\text{C}$
- Titik lebur : 772°C

b) Sifat Kimia

- Serbuk yang bersifat higroskopis.
- Larut dalam 95% etil alkohol

2.1.3 Produk Utama

2.1.3.1 Sirup Glukosa

Glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) merupakan monosakarida yang banyak ditemukan di alam. Sirup glukosa adalah cairan jernih dan kental yang mempunyai komponen utama adalah glukosa. Sirup glukosa banyak dimanfaatkan pada industri pangan dan obat-obatan. Mutu dari sirup glukosa ditentukan dari warna sirup, kadar air dan tingkat konversi pati yang dihitung sebagai ekuivalen dekstrosa (DE). Nilai ekuivalen dekstrosa (DE) pada sirup glukosa yang tinggi bisa diperoleh dengan optimasi proses likufikasi dan sakarifikasi. Untuk kadar padatan kering dan warna pada sirup glukosa agar memenuhi standar (Gita Indah Budiarti, 2016)

Menurut Tjokroadikoesoemo (1993) kegunaan sirup glukosa di dalam industri yaitu:

- a. Didalam produksi bahan makanan, glukosa dalam betuk sirup digunakan untuk pembuatan permen, biskuit, ice cream, sirup, kecap, bumbu masak, dan sebagainya
- b. Didalam industri farmasi, glukosa digunakan untuk pembuatan larutan infus
- c. Glukosa juga digunakan sebagai substituen, karena produk ini mengandung karbohidrat atau gula pereduksi, misalnya dalam industri fermentasi (alkohol)

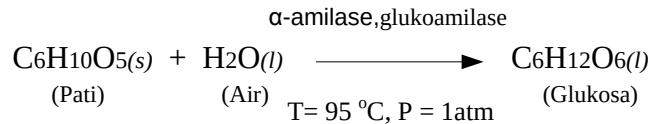
Sifat Fisik dan kimia sirup glukosa menurut MSDS, Glucose Syrup (2010) :

- Cairan kental dan bening
- Sedikit berbau manis
- Kandungan glukosa : >60%
- Specific gravity : 1,35-1,45 g/cm³
- Titik lebur : -30 sampai -10 °C
- Titik didih : 104-115 °C
- pH : 4-6,5

2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

Pembuatan sirup glukosa yang umumnya berbahan dasar dari pati, tahapan prosesnya meliputi likuifikasi, sakarifikasi, penjernihan, dan pemekatan. Hidrolisis pati dengan enzim dilakukan menggunakan bantuan enzim α -amylase dan enzim *glukoamylase* (*amyloglukosidase*). Enzim α -amylase digunakan pada proses likuifikasi, sedangkan *glukoamylase* digunakan pada proses sakarifikasi (Winarno, 1995). Reaksi Dasar dari proses pembentukan sirup glukosa dengan proses hidrolisis enzim adalah sebagai berikut :



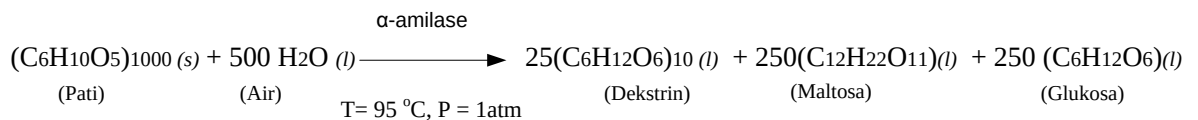
Gambar 2. 2 Reaksi Hidrolisis Pati dengan Enzim

2.2.2 Mekanisme Reaksi

2.1.1.1 Proses Liquifikasi

Liquifikasi merupakan pemecahan pati menjadi dekstrin dengan bantuan enzim α -amilase. Tujuan liquifikasi adalah mengubah pati menjadi larutan dekstrin yang larut pada viskositas rendah untuk memudahkan penanganan dalam alat-alat pemindah serta memudahkan pengubahan menjadi glukosa dengan enzim glukamilase.

Suspensi pati yang telah tergelatinasi dimasukkan dalam Reaktor Dekstrinasi dengan ditambahkan enzim α -amilase yang bertujuan untuk memecah rantai pati yang telah tergelatinasi menjadi dekstrin, maltosa dan glukosa. Kemudian suspensi pati diatur (didinginkan) dan dipertahankan pada suhu 90-95°C, yang mana suhu ini merupakan suhu optimal dari enzim α -amilase untuk menghidrolisis pati. Pada tahap dekstrinasi, suspensi pati ditambahkan α -amilase dengan perbandingan diantara 0,5-0,8 L/metric ton of dry starch, sambil diaduk selama kurang lebih 2-3 jam hasilnya adalah pati terkonversi hingga 88% menjadi glukosa. (Uhlig, 1998)



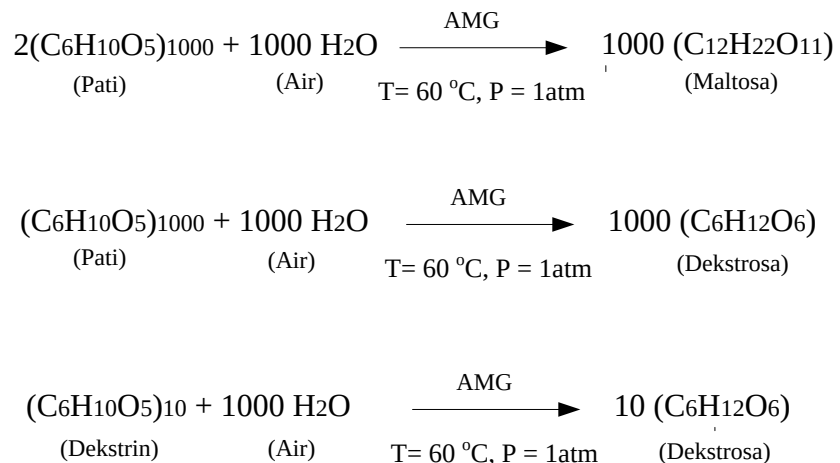
Gambar 2. 3 Reaksi Likuifikasi

2.1.1.2 Proses Sakarifikasi

Pada proses sakarifikasi, pati yang telah menjadi dekstrin keluar dari hasil liquifikasi didinginkan oleh pada suhu

60°C dengan pH 4,5-5 dan penambahan HCl 32% yang merupakan kondisi optimum aktivitas enzim glukoamilase. Penambahan enzim glukoamilase adalah sebanyak 0,7 L/metric ton of dry starch. Proses berjalan selama 48 jam pada 60°C pada tekanan 1 atm dengan konversi 97-98% (Uhlir, 1998).

Reaksi yang terjadi pada Proses Sakarifikasi:



Gambar 2. 4 Proses Sakarifikasi

2.2.3 Kondisi Operasi

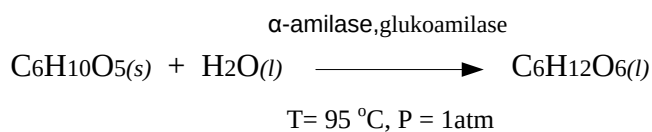
Reaksi yang terjadi dalam pembentukan sirup glukosa merupakan reaksi eksotermis ireversibel dengan perubahan entalpi sebesar -109,305 kJ/mol. Oleh karena itu, selama operasi, diperlukan kontrol yang lebih ketat terhadap panas reaksi yang timbul di dalam reaktor. Reaksi likuifikasi dengan mengubah pati menjadi dekstrin berlangsung didalam reaktor berpengaduk yang dioperasikan pada temperatur 95°C dan tekanan 1 atm dan Proses Sakarifikasi terjadi pada reaktor berpengaduk yang dioperasikan pada kondisi temperatur 60°C dan tekanan 1 atm.

2.3 Tinjauan Kimetika dan Termodinamika

2.3.1 Tinjauan Termodinamika

Untuk menentukan sifat reaksi apakah berjalan secara eksotermis atau endotermis, maka perlu pembuktian dengan menggunakan panas pembentukan

standar (ΔH°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,15oK dari reaktan dan produk.



$$\Delta H^\circ_f \text{ reaksi} = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 (\text{s}) = -878,166 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O} (\text{l}) = -285,829 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{l}) = -1273,3 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_f \text{ reaksi} &= (\Delta H^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{l})) - (\Delta H^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 (\text{s}) + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O} (\text{l})) \\ &= (-1273,3 \text{ kJ/mol}) - (-878,166 \text{ kJ/mol} + -285,829 \text{ kJ/mol}) \\ &= (-1273,3 \text{ kJ/mol} - (-1163.995 \text{ kJ/mol})) \\ &= -109,305 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan panas reaksi didapatkan nilai ΔH°_f negatif. ΔH negatif menandakan bahwa reaksi tersebut bersifat eksotermis (menghasilkan panas).

Reaksi yang bersifat dapat balik (reversible) atau searah (irreversible) dapat ditentukan secara termodinamika, yaitu dengan berdasarkan persamaan Van't Hoff.

Jika H merupakan perubahan enthalpy standar (panas reaksi) dan diasumsikan konstan terhadap suhu, maka persamaan (2.3) dapat diintegrasikan menjadi :

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Data energi bebas Gibbs (*Gibbs Heat of Formation*) :

$$\Delta G^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 = -569,77 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f \text{ H}_2\text{O} = -237,588 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = -1134,862 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f \text{ reaksi} = (\Delta G^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) - (\Delta G^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + \Delta G^\circ_f \text{ H}_2\text{O})$$

$$= (-1134,862 \text{ kJ/mol}) - (-569,77 \text{ kJ/mol} + -237,588 \text{ kJ/mol})$$

$$= (-1134,862 \text{ kJ/mol} - (-807,358 \text{ kJ/mol}))$$

$$= -327,504 \text{ kJ/mol}$$

Menghitung K standar pada temperatur 298,15°K :

$$\ln K_{298,15} = \frac{-\Delta G}{RT} = \frac{-(327,504) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298,15 \text{ K}}$$

$$\ln K_{298,15} = \frac{-\Delta G}{RT} = \frac{-(327,504) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{2,48 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}$$

$$\ln K_{298,15} = \frac{-\Delta G}{RT} = -132,06$$

$$K_{298,15} = 2,2539 \times 10^{57}$$

Menghitung K pada temperatur operasi 368,15 K

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H}{R} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{K_{368,15}}{K_{298,15}} = \frac{-(51,83 \text{ kJ/mol})}{0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \times \left(\frac{1}{368,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{K_{368,15}}{K_{298,15}} = -6234,06 \times (0,0027 - 0,0034)$$

$$\ln \frac{K_{368,15}}{K_{298,15}} = -6234,06 \text{ K} \times -0,0006 \text{ K}^{-1}$$

$$\ln \frac{K_{368,15}}{K_{298,15}} = 3,98$$

$$\frac{K_{368,15}}{K_{298,15}} = 53,29$$

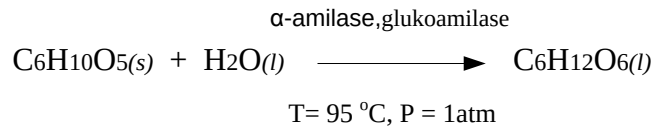
$$K_{368,15} = 53,29 \times K_{298,15}$$

$$K_{368,15} = 53,29 \times (2,83 \times 10^{-12})$$

$K_{368,15} = 1,49 \times 10^{-10}$, karena hasil dari k pada temperatur 368,15 K lebih dari 1 sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi berjalan Irreversibel.

2.3.2 Tinjauan Kinetika

Reaksi hidrolisis pati yaitu :



$$\Delta H = -51,83 \text{ kJ/mol}$$

Berdasarkan hasil penelitian Yuniwati,dkk (2011), didapatkan hasil dari koefisien kecepatan reaksi (k) hidrolisis pati menjadi glukosa diperoleh harga k sebagai fungsi suhu adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{k_b T}{h} e^{\Delta G/RT}$$

dimana, k_b = Konstanta Boltzman ($1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ J/Kmol}$)

h = Konstanta Planck ($6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$)

ΔG = Energi Gibbs ($65,936 \text{ kJ/mol}$)

R = Konstanta Gas Ideal ($8,314 \text{ J/mol.K}$)

T = Suhu reaksi (105°C ($378,15\text{K}$))

diperoleh harga k sebagai fungsi suhu :

$$k = \frac{(1,3807 \times 10^{-23} \text{ Tj/Kmol})T}{6,6261 \times 10^{-34} \text{ J.s}}$$

$$k = 2,08 \cdot 10^{10} T \cdot e^{65,94/(8,314)T}$$

Pada persamaan di atas menunjukkan bahwa jika suhu dinaikkan maka harga k juga akan naik sedangkan bila suhu diturunkan maka harga konstanta kecepatan reaksi (k) juga menurun. Untuk suhu 80°C , harga k adalah $1,12 \times 10^4 \text{ liter. kmol}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}$. (J. Piotrowski, 2003)

2.4 Langkah Proses

2.4.1 *Pre-Treatment*

Singkong yang telah bersih dari kulitnya dari gudang penyimpanan diangkut dengan *bucket elevator* menuju tangki pencuci untuk dicuci dengan air proses. Kemudian dilunakkan menggunakan *steeping tank* dengan penambahan air hangat selama 24 jam. Selanjutnya singkong dihaluskan dengan *ball mill*. Lalu dipisahkan dari lembaganya menggunakan *germ separator*. Setelah lembaga dipisahkan, campuran starch dan gluten dipisahkan dengan *centrifugal separator*. (United States Patent No. 3,928,631, 1975)

2.4.2 Gelatinasi

Pati singkong yang didapatkan dari proses *pretreatment* dialirkan menuju tangki pencampur. Dalam proses gelatinasi, suspensi pati yang mengandung 30-35% pati dalam Tangki Pencampur ditambahkan dengan CaCl_2 yang berfungsi untuk menjaga stabilitas enzim dengan konsentrasi Ca^{2+} maksimal 100 ppm (Uhlig, 1998). Kemudian dipanaskan melalui *jet cooker* dengan steam selama 5-10 menit hingga *slurry* mencapai suhu 105°C - 107°C . Pemanasan dengan suhu tinggi ini dimaksudkan untuk memecah granula pati, sehingga lebih mudah terjadi kontak dengan air dan enzim pada tahap selanjutnya. Ketika tahap gelatinisasi mencapai suhu 105°C , granula pati lebih mudah menyerap air karena ikatan hidrogen yang membentuk granulanya melemah. Granula yang menyerap air akan mengembang sehingga *slurry* akan menjadi lebih kental. Gelatinisasi ini memungkinkan enzim α -amilase untuk menghidrolisis pati. Selain itu, perlakuan pada suhu tinggi tersebut juga dapat berfungsi untuk sterilisasi bahan, sehingga bahan tersebut tidak mudah terkontaminasi (Uhlig, 1998)

2.4.3 Hidrolisis

2.4.3.1 Tahap Liquifikasi

Liquifikasi adalah proses pemecahan pati menjadi gula kompleks (dekstrin) dengan bantuan enzim α -amilase. Parameter proses ini adalah larutan menjadi lebih encer dan viskositas lebih rendah sehingga akan memudahkan proses pembentukan glukosa oleh enzim glukamilase. Pati yang telah tergelatinasi dialirkan ke reaktor liquifikasi dengan penambahan enzim α -amilase dengan rasio 0,5-0,8 L/*metric ton of dry starch* dan diaduk selama kurang lebih 2-3 jam untuk memecah rantai pati yang telah tergelatinasi menjadi dekstrin, maltose, dan glukosa. Suspensi pati diatur dan dijaga pada suhu 90 - 95°C , $\text{pH}=6$ dan tekanan 1 atm dengan konversi 88% (Uhlig, 1998).

2.4.3.2 Tahap Sakarifikasi

Pada proses sakarifikasi pati yang keluar dari

reaktor liquifikasi menjadi dekstrin didinginkan oleh cooler pada suhu 60°C dengan pH 4,5-5 dan penambahan HCl 32% yang merupakan kondisi optimum aktivitas enzim glukamilase. Reaktor ini berfungsi mengkonversi dekstrin menjadi glukosa dengan bantuan enzim glukamilase dengan dosis 0,6-0,7 L/metric ton of dry starch. Reaksi berjalan selama 48-72 jam pada 60°C pada tekanan 1 atm dengan konversi 97-98% (Uhlig, 1998). Selanjutnya larutan sirup glukosa dipompa menuju *Rotary Vacuum Filter* untuk proses purifikasi.

2.4.4 Pemurnian dan Pemekatan

2.4.4.1 Filtrasi

Filtrasi ini dilakukan menggunakan *Rotary Vacuum Filter* untuk memisahkan kotoran yang tidak larut seperti sisa pati, protein, kalsium serat kasar, lemak, impurities, CaCl₂, enzim α -amilase dan AMG, serta dekstrin. Pemisahan menghasilkan solid (cake) dan sirup glukosa (filtrat). Kebutuhan air pencuci dalam *Rotary Vacuum Filter* ini yaitu sebanyak 0,25% dari berat filtrat.. Solid (cake) dibuang menjadi solid waste, sedangkan filtrat dialirkan ke dalam Tangki Adsorpsi dengan penambahan karbon aktif secara manual. (Hugot, 1972)

2.4.4.2 Pemucatan

Filtrat diberi karbon aktif untuk pemucatan (penghilangan warna) menggunakan karbon aktif dengan ukuran 60-80 mesh sebanyak 0,1 % dari berat bahan kering dalam filtrat. Karbon aktif tersebut memucatkan warna sirup glukosa dengan menyerap sebagian komponen yakni impurities (yang berupa abu) sebanyak 6%, juga sebagian glukosa (2%) dan maltosa (2%). Proses pemucatan di dalam Tangki Adsorpsi yang berlangsung dengan suhu operasi 70 °C. Setelah pemucatan warna tersebut, filtrat selanjutnya dialirkan ke *Filter Press* dengan menggunakan Pompa untuk dilakukan penyaringan kembali, yaitu memisahkan filtrat dengan karbon aktif. Di dalam *Filter Press*, terjadi pemisahan antara cake (*soild waste*) dan filtrat, dengan total filtrat yang terikut ke cake sebanyak 0,1 % dari berat padatan dalam

cake dan tidak ada inert (cake) yang terikut dalam aliran filtrat (*Hugot, 1972*) Filtrat yang keluar dari *Filter Press* dialirkan menuju *Kation Exchanger* dan *Anion Exchanger* dengan menggunakan *Pompa Kation-Anion Exchangr*.

2.4.4.3 Penukaran Ion

Proses penukaran ion ini dilakukan untuk menghilangkan ion-ion yang terkandung pada larutan sirup glukosa, seperti Cl^- dan Na^+ . Proses ini dilakukan di dalam vessel yang berisi resin yang telah diaktivasi dan menukarkan ion positif terlarut dengan H^+ dan ion negative dengan OH^- , yakni *Kation Exchanger* dan *Anion Exchanger*. Apabila resin yang digunakan telah jenuh, perlu dilakukan proses regenerasi kembali. Resin penukar kation yang dapat digunakan antara lain Pinex C13N, Pinex C20, Dowex HCRS, Lewa S100, Mits Skib, dan AMB IR 120. Sedangkan resin sebagai penukar anion adalah Fin A541 M, Fin A551 M, Fin A532, Dowex SBRP, Mits PA 408, Mits WA 30, dan AMB IR A 420. (*Nur Richana, 2007*)

2.4.4.4 Evaporasi

Tahap terakhir adalah penguapan. Tahap penguapan dilakukan di *evaporator* untuk mendapatkan sirup glukosa dengan kekentalan 75%.

2.5 Diagram Alir (*Flowsheet*)

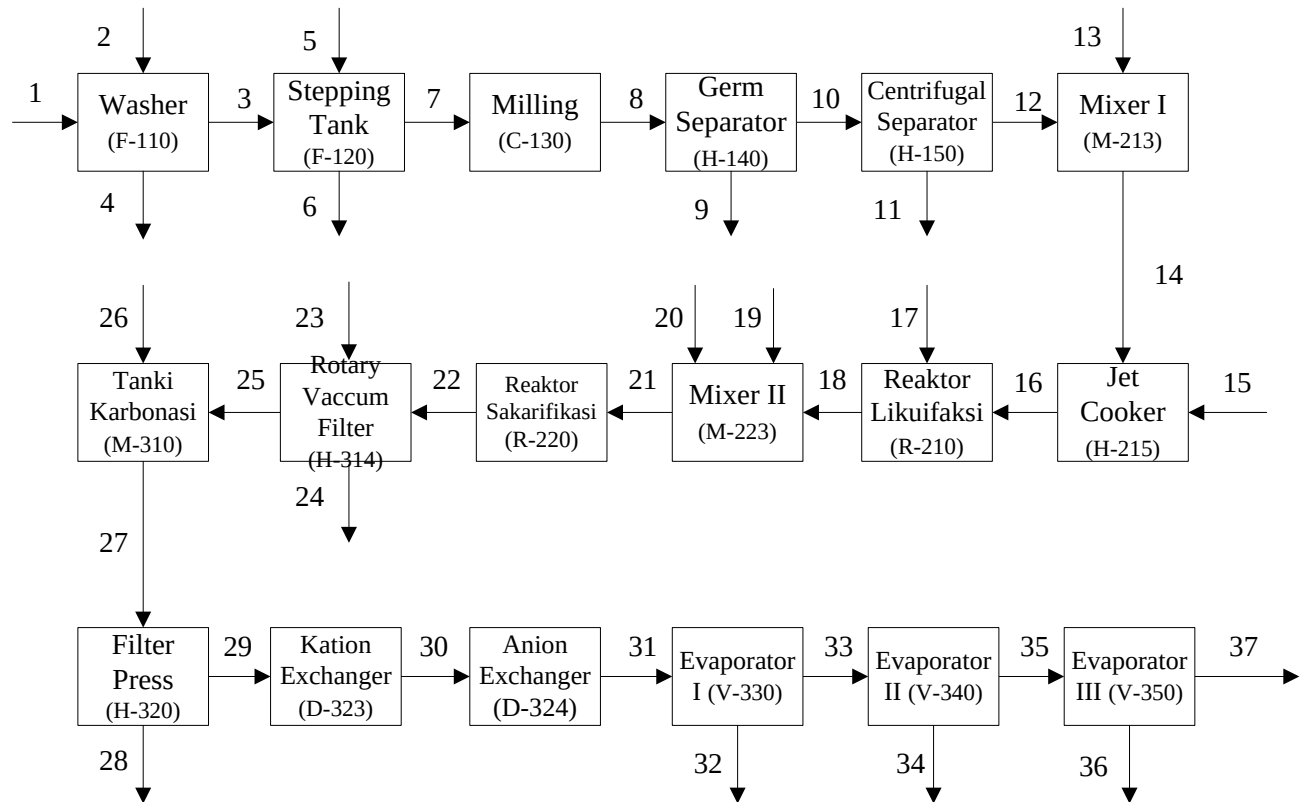
Terlampir

2.6 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.6.1 Neraca Massa

Kapasitas Produksi = 35.000 ton/tahun
= 106 ton/hari
= 4.500 kg/jam (330 hari kerja, 24 jam operasi)

Berikut adalah diagram alir neraca massa pada pembuatan sirup glukosa dari singkong :



Gambar 2. 5 Diagram Alir Neraca Massa

2.6.2 Neraca Panas

terlampir

2.7 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.7.1 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik merupakan hal yang sangat penting untuk mengatur letak alat proses, unit produksi, utilitas, penyimpanan bahan baku dan produk, perkantoran dan sarana lainnya. Berikut adalah beberapa hal yang perlu dipertimbangkan saat merancang tata letak pabrik :

- Area proses
- Kemungkinan perluasan pabrik dan penambahan bangunan
- Keamanan
- Luas area pabrik yang tersedia
- Instalasi

Secara garis besar layout pabrik dapat dibagi menjadi beberapa daerah utama, yaitu :

1. Daerah administrasi/kantor, laboratorium, dan ruang kontrol

Daerah administrasi merupakan pusat kegiatan administrasi pabrik yang mengatur kelancaran proses. Laboratorium dan ruang kontrol sebagai pusat pengendalian proses, kualitas, dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual.

2. Daerah proses

Daerah ini merupakan daerah dimana terdapat alat-alat proses, yang merupakan tempat berlangsungnya proses produksi.

3. Lokasi penyimpanan umum, bengkel

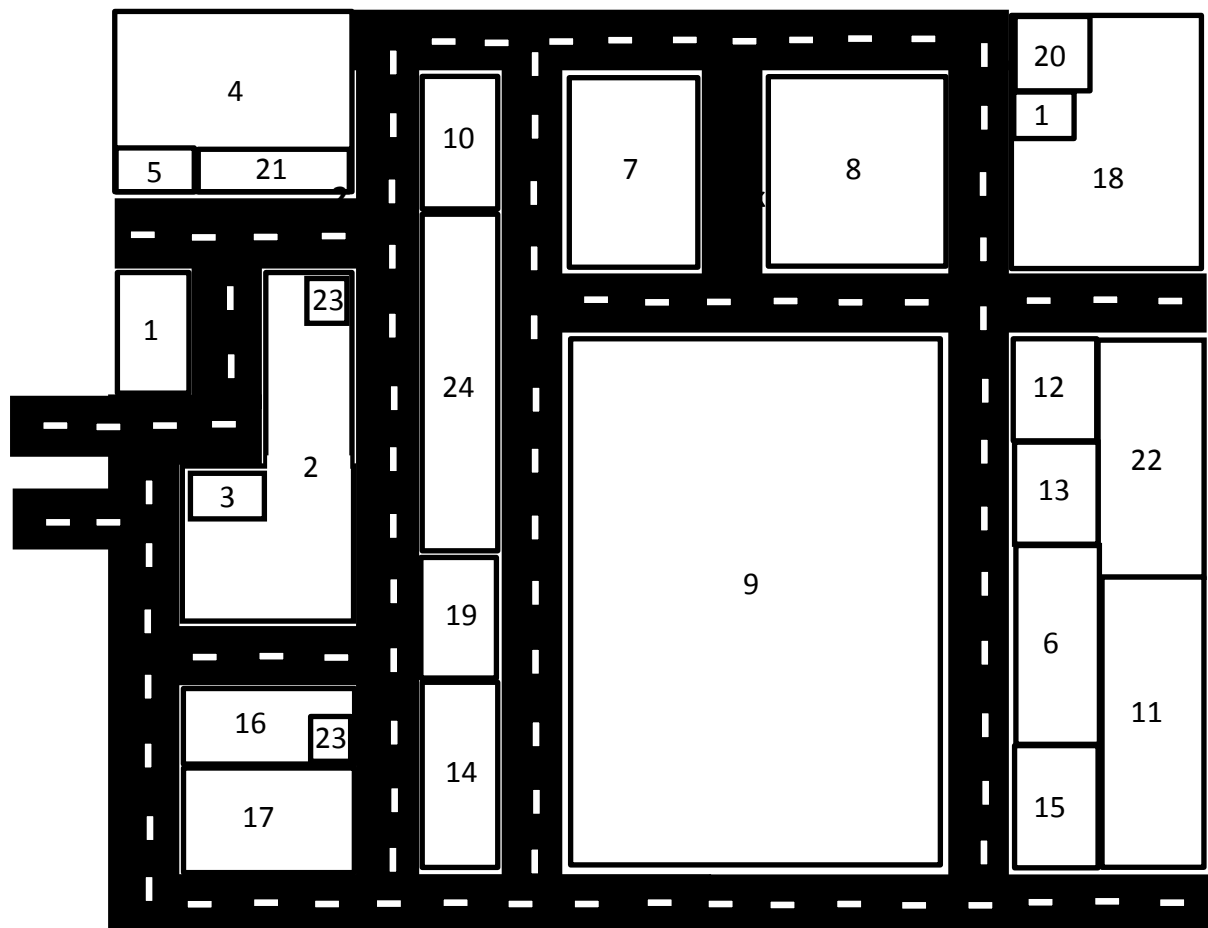
Daerah ini merupakan daerah untuk penampungan bahan-bahan yang diperlukan oleh pabrik dan untuk keperluan perawatan peralatan proses.

4. Daerah utilitas

Daerah ini merupakan daerah untuk kegiatan penyediaan bahan pendukung proses berlangsung.

No	Gedung	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1.	Pos Keamanan	7	5	35
2.	Kantor 2 Lantai	100	15	1500
3.	Perpustakaan	22	10	220
4.	Area Parkir	20	40	800
5.	Area Evakuasi	6	10	60
6.	Bengkel	40	10	400
7.	Gudang Bahan Baku	30	30	900
8.	Gudang Produk	20	20	400
9.	Area Proses	50	40	2000
10.	Kantor K3	20	10	200
11.	Utilitas	45	20	900
12.	Fire Station	10	10	100
13.	Fuel Station	10	10	100
14.	Laboratorium	40	10	400

15.	Power Station	10	10	100
16.	Kantin	10	20	200
17.	Tempat Ibadah	15	20	300
18.	Area Parkir Truk	35	30	1050
19.	Control Room	20	10	200
20.	Pos Pemeriksaan	5	5	25
21.	Poliklinik	5	20	100
22.	Area Perluasan	40	20	800
23.	Toilet	10	10	100
24.	Taman	50	10	500



Keterangan:

- | | | | |
|----|-----------------|-----|----------------------|
| 1. | Pos Keamanan | 13. | <i>Fuel Station</i> |
| 2. | Kantor 2 Lantai | 14. | Laboratorium |
| 3. | Perpustakaan | 15. | <i>Power Station</i> |

4.	Area Parkir	16.	Kantin
5.	Area Evakuasi	17.	Tempat Ibadah
6.	Bengkel	18.	Area Parkir Truk
7.	Gudang Bahan Baku	19.	<i>Control Room</i>
8.	Gudang Produk	20.	Pos Pemeriksaan
9.	Area Proses	21.	Poliklinik
10.	Kantor K3	22.	Area Perluasan
11.	Utilitas	23.	Toilet
12.	<i>Fire Station</i>	24.	Taman

2.7.2 Tata Letak Peralatan Proses

Tata letak peralatan proses untuk memproduksi sirup glukosa harus memperhatikan hal-hal berikut:

a. Aliran bahan baku dan produk

Penataan peralatan produksi dilakukan dengan memperhatikan aliran bahan baku dan produk secara efisien untuk menjamin kelancaran dan keamanan proses produksi serta memberikan keuntungan ekonomi. Aliran bahan baku yang menggunakan conveyor dan bucket elevator dan sistem perpipaan harus ditempatkan sedemikian rupa agar tidak mengganggu lalu lintas pekerja.

b. Aliran udara

Aliran udara di dalam dan sekitar area proses perlu diperhatikan kelancarannya. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat sehingga mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang dapat membahayakan keselamatan pekerja.

c. Cahaya

Cahaya berfungsi sebagai penerangan seluruh pabrik. Seluruh pabrik harus mendapat penerangan yang memadai, khususnya pada area proses dengan risiko tinggi untuk menghindari

terjadinya kecelakaan.

d. Lalu lintas manusia

Perancangan layout peralatan pabrik harus diperhatikan agar pelaksanaan produksi berjalan lancar. Pekerja diharapkan dapat mengakses seluruh peralatan produksi dengan cepat dan mudah. Sehingga jika terdapat masalah pada peralatan proses dapat segera diperbaiki. Selain itu, keselamatan pekerja saat menjalankan tugas juga menjadiprioritas.

e. Jarak antar alat proses

Alat proses dengan suhu dan tekanan operasi tinggi harus dipisahkan dari peralatan proses lainnya sehingga peralatan tersebut tidak membahayakan peralatan proses lainnya jika terjadi ledakan atau kebakaran.

f. Ekonomi

Penempatan peralatan proses berorientasi ekonomi untuk memastikan kelancaran dan keamanan produksi pabrik dengan biaya seminimal mungkin. Tata letak proses harus mempertimbangkan aspek ekonomi berikut:

- Memastikan bahwa dengan biaya minimal proses produksi tetap dapat berjalan lancar dan aman.
- Efektivitas dalam memanfaatkan area bangunan sehingga tidak terjadi pemborosan tempat.
- Biaya bahan dan proses minimal yang mengarah pada pengurangan pengeluaran modal yang tidak diperlukan.
- Karyawan mendapatkan kenyamanan saat bekerja sehingga dapat meningkatkan

produktivitas pekerja