



BAB II

URAIAN DAN PEMILIHAN PROSES

II.1 Macam-macam Proses

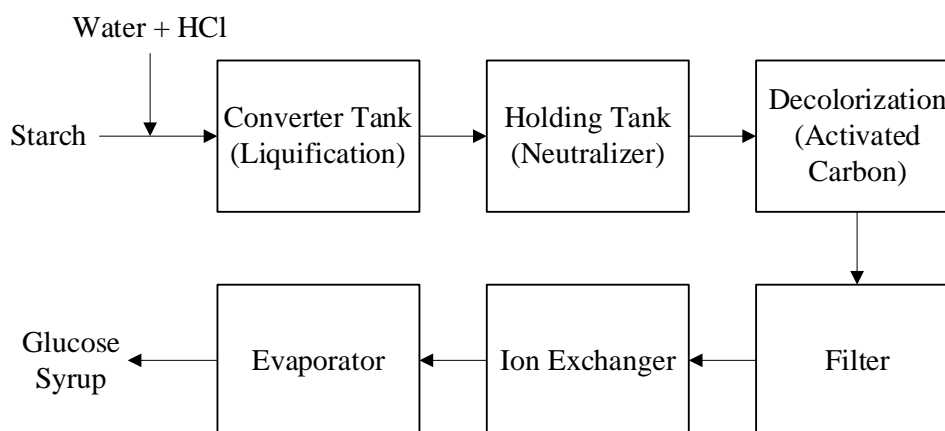
Dalam memproduksi glukosa kristal yang optimal dan memenuhi kriteria baik dari segi teknis maupun ekonomi, perlu ditinjau bagaimana proses dalam pengolahan bahan baku sampai menjadi produk. Terdapat tiga proses yang dapat dilakukan untuk menghidrolisa pati sehingga menghasilkan glukosa, yaitu:

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

II.1.1. Hidrolisis Asam

Hidrolisa ini menggunakan asam sebagai katalisnya, biasanya yang di pakai adalah asam kuat, misalnya HCl. Pada hidrolisa pati dengan asam, diperlukan suhu tinggi yaitu 140°C- 160°C. Asam akan memecah molekul pati secara acak dan gula yang dihasilkan sebagian besar adalah gula pereduksi. Pada pembuatan glukosa, hidrolisa asam menghasilkan konversi yang cukup rendah 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



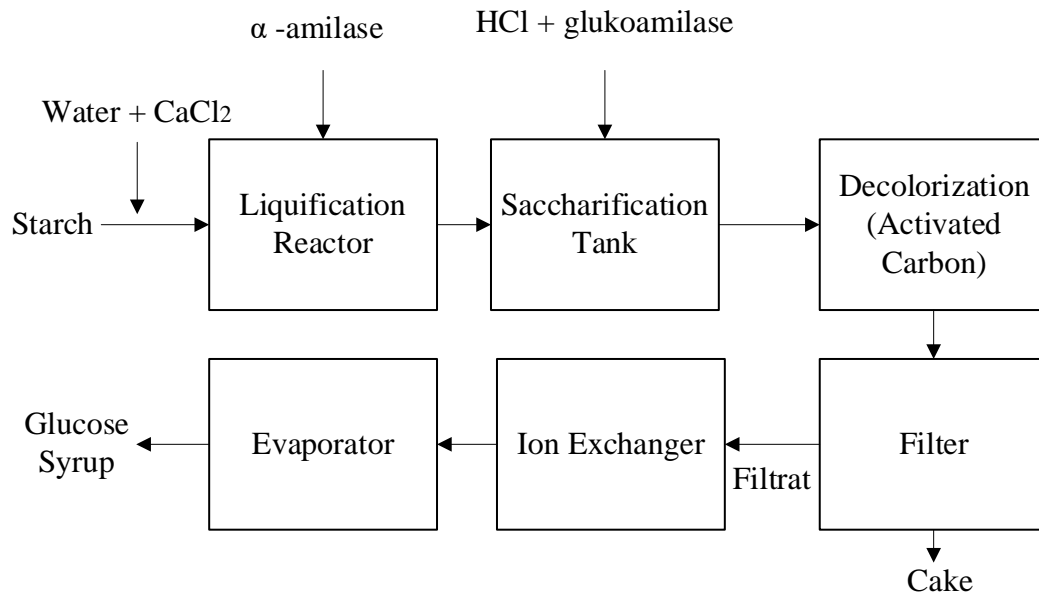
PRA PERANCANGAN PABRIK
“GLUKOSA KRISTAL DARI PATI SINGKONG DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIM KAPASITAS 41.000 TON/TAHUN”

- (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 ekuivalen 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 dekstrosa. 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 dekstrosa (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:

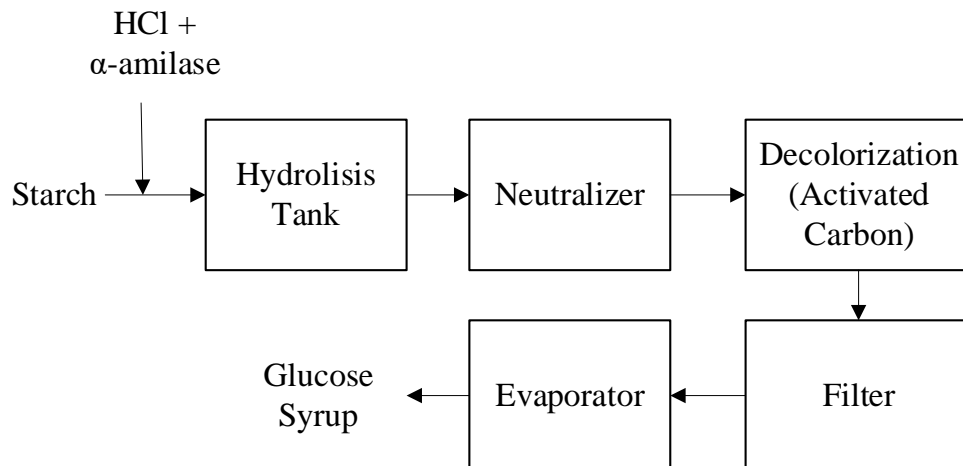


Gambar II.2. Mekanisme Proses Hidrolisis Pati dengan Menggunakan Enzim

- (1) Larutan pati dengan kandungan sebesar 45 – 55% 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 180°F (82°C) selama 3 – 5 menit. Setelah itu larutan pati dialirkan ke dalam reaktor likuifikasi untuk mengalami proses hidrolisa selama 3 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 dekstroa (DE) sekitar 12.
- (3) Larutan pati dari reaktor likuifikasi dialirkan ke dalam tangki sakarifikasi dengan penambahan enzim *glukoamilase*. Proses ini membutuhkan waktu 24 – 90 jam dan menghasilkan larutan dengan kandungan 94% dekstroa.
- (4) Setelah itu, larutan dekstroa diumpankan ke dalam kolom bed karbon aktif untuk penyerapan warna dari larutan glukosa. Setelah dijernihkan dengan karbon aktif, larutan dekstroa difiltrasi untuk memisahkan arang aktif dan *impurities* yang melekat pada larutan dekstroa. Kemudian dilakukan

demineralisasi melalui kolom *ion exchanger* sebelum dilakukan pemekatan sirup glukosa menggunakan evaporator (BeMiller, 2009).

II.1.3. Hidrolisis Asam-Enzim



Gambar II.3. Mekanisme Proses Hidrolisis Pati dengan Menggunakan Asam-Enzim

Hidrolisa pati dengan menggunakan katalis kombinasi asam dengan enzim, pada tahap pertama hidrolisa dilakukan dengan bubur pati dengan konsentrasi 35-40% diasidifikasi hingga pH 2,0 dengan asam klorida atau katalis asam pada suhu 140-160°C dan tekanan 5,4 atm sampai mencapai nilai ekivalen dekstroza sekitar 25-45%. Setelah mencapai nilai ekivalen dekstroza (DE) yang diharapkan, reaksi dihentikan dengan penetralan menggunakan soda abu untuk menaikkan pH hingga 5.0. Pada pH tersebut, tidak hanya untuk optimasi penghilangan lemak dan protein tetapi juga untuk mengurangi resiko perubahan warna yang tak diinginkan. Selanjutnya dihidrolisa dengan enzim sampai mencapai nilai dekstroza yang dikehendaki, didekolorasi, difiltrasi serta dievaporasi (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: (Sa'id, 1987) Hidrolisa Enzim: (Rahmawati, 2015)
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 glucoamilase)	Hidrolisa Asam: (Dewi dkk, 2018) Hidrolisa enzim: (Winarno, 1986)
4.	Rendemen	± 55%	± 90%	Hidrolisa asam: (Triyono, 2008) Hidrolisa enzim: (Sutamihardja dkk, 2017)

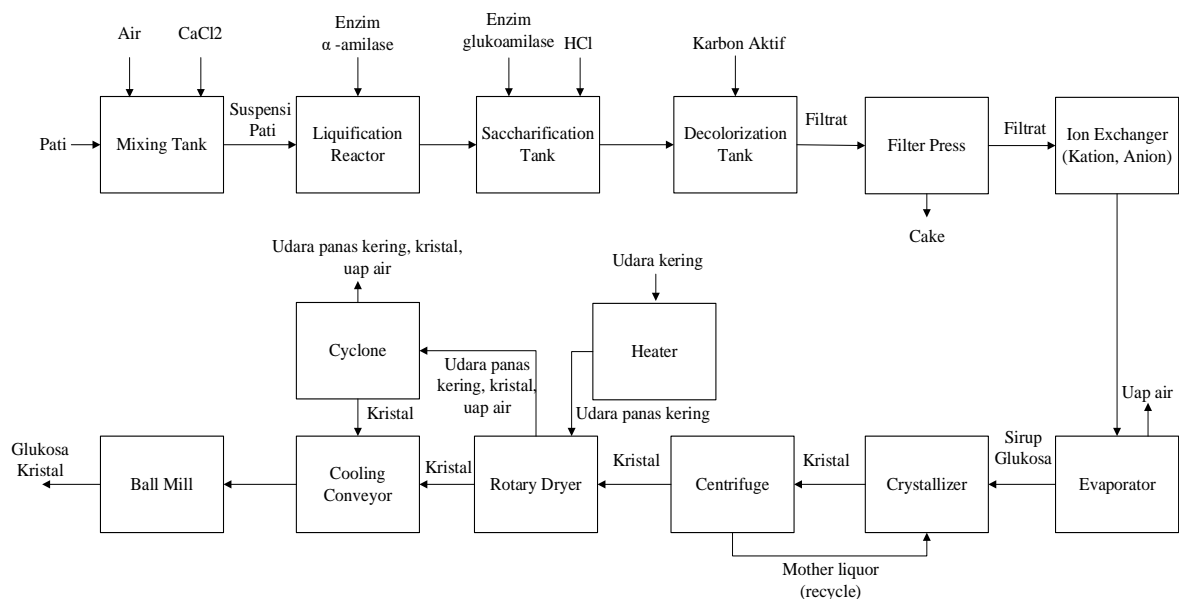
Berdasarkan tabel II.1, dapat disimpulkan bahwa, dipilihlah proses hidrolisis pati menjadi glukosa menggunakan metode hidrolisis enzim dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. 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.
- b. Kondisi operasi (tekanan dan suhu operasi yang lebih aman dan membutuhkan energi yang lebih sedikit.
- c. Tidak akan terjadi korosi karena pH lebih tinggi.
- d. 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.4. Mekanisme Proses Pembuatan Glukosa Kristal

Pembuatan pra rencana pabrik glukosa kristal ini dapat dilihat secara lengkap pada flowsheet yang tertera. Tahapan-tahapan pembuatan glukosa kristal dibagi menjadi 6 tahapan, antara lain:



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

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

1. Proses Gelatinasi

Bahan baku pati singkong (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-113). Dalam tangki *mixing*, pati singkong dicampur dengan air dan CaCl_2 dari hopper penyimpanan CaCl_2 (F-114), sehingga menghasilkan suspensi pati kadar 35%. Fungsi dari penambahan CaCl_2 adalah sebagai stabilisator pH serta menciptakan kondisi optimum bagi kerja enzim dengan konsentrasi Ca^{2+} sebesar 70 mg/L. Tangki *mixing* (M-113) 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-115) menuju jet cooker (E-116). 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).

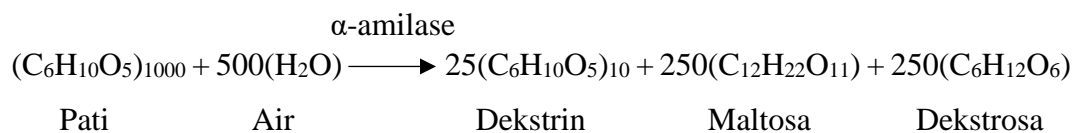
2. Proses Likuifikasi

Setelah proses gelatinasi selesai, gelatin pati diumpankan menuju reaktor likuifikasi (R-210) untuk proses dekstrinasi (likuifikasi). Reaktor yang digunakan



PRA PERANCANGAN PABRIK
“GLUKOSA KRISTAL DARI PATI SINGKONG DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIM KAPASITAS 41.000 TON/TAHUN”

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 \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 diumpukan ke reaktor sakarifikasi (R-220).

3. Proses Sakarifikasi

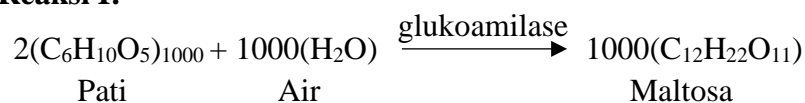
Dari reaktor likuifikasi (R-210) larutan dekstrin dialirkan menuju reaktor sakarifikasi (R-220). Cairan pati yang masuk kedalam reaktor sakarifikasi memiliki pH \pm 6. Reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaktor sakarifikasi dilengkapi dengan pengaduk agar suhu dalam 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 dekstrosa 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



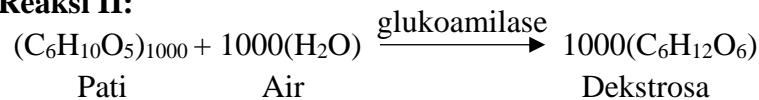
PRA PERANCANGAN PABRIK
“GLUKOSA KRISTAL DARI PATI SINGKONG DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIM KAPASITAS 41.000 TON/TAHUN”

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 dekstroza yang kemudian disebut sirup glukosa. Reaksi yang terjadi pada proses sakarifikasi ialah:

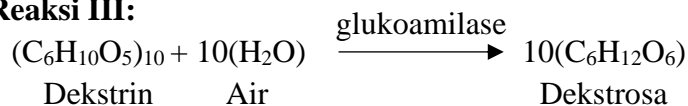
Reaksi I:



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 dekstroza (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 dekstroza yang juga disebut sirup glukosa dipompa (L-221) menuju tangki karbonatasi (D-230) terjadi proses dekolorisasi atau penyerapan warna dari larutan dekstroza dengan menggunakan media penyerap karbon aktif. Karbon aktif memiliki kemampuan untuk membebaskan larutan dekstroza 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 dekstroza. Setelah dijernihkan dengan karbon aktif, larutan dekstroza dipompa (L-231) menuju Filter Press (H-240) dalam suhu 55°C untuk memisahkan cake dan komponen impurities yang melekat pada



larutan dekstrosa. Setelah proses penyaringan, larutan dekstrosa 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 dekstrosa 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 crystallizer (S-270) dengan menggunakan pompa (L-264).

5. Proses Kristalisasi dan Pengerinan

Larutan dekstrosa pekat kemudian dikristalisasi dengan crystallizer (S-270) dengan suhu 30°C untuk mengubah fasenya menjadi padatan. Kemudian disentrifugasi (H-280) dengan waktu 1 jam untuk memisahkan kristal glukosa dan *mother liquor*. Filtrat berupa *mother liquor* kemudian di recycle kembali dengan pompa (L-281) ke crystallizer, karena masih mengandung bibit-bibit kristal sehingga dapat mengoptimalkan hasil dari kristal glukosa yang terbentuk nantinya. Kemudian, kristal glukosa diumpankan menuju rotary dryer (B-290) dengan menggunakan screw conveyor (J-282). Dalam rotary dryer (B-290) kristal akan dikurangi kadar airnya dengan bantuan udara panas kering yang dialirkan secara berlawanan arah (*co-current*). Udara panas kering diambil dari udara bebas menggunakan blower (G-291), kemudian dihilangkan kelembabannya dengan molecular sieve udara (D-292), lalu dipanaskan oleh heater udara (E-293) hingga



PRA PERANCANGAN PABRIK
“GLUKOSA KRISTAL DARI PATI SINGKONG DENGAN PROSES
HIDROLISIS ENZIM KAPASITAS 41.000 TON/TAHUN”

mencapai suhu 70°C. Setelah proses pengeringan, udara panas dan padatan produk yang terikut udara akan keluar menuju cyclone (H-294). Dalam cyclone (H-294) udara dibersihkan dari padatan tersebut, sehingga udara yang keluar adalah udara bersih sedangkan padatan akan langsung menuju cooling conveyor (J-310) bersama dengan produk yang keluar dari rotary dryer (B-290).

6. Proses Finishing

Setelah dikeringkan, produk keluar dari rotary dryer pada suhu 60°C dan produk dari cyclone suhu 62,23°C akan didinginkan dalam cooling conveyor (J-310) hingga suhu kamar sekitar 30°C. Setelah kristal glukosa suhunya turun, kristal dekstrosa dengan kadar gula pereduksi sebesar 99,5% diumpankan menggunakan bucket elevator (J-311) menuju ke ball mill (C-320) untuk dihancurkan agar ukuran semakin kecil hingga didapatkan ukuran kristal yang seragam sebesar 200 mesh. Dalam ball mill ini terdapat ayakan 200 mesh jadi produk yang telah dihancurkan akan melewati ayakan tersebut. Keluaran produk yang lolos ayakan (*undersize*) atau yang sudah memenuhi spesifikasi diumpankan menuju silo produk (F-330), sedangkan yang *oversize* tertahan dan dihancurkan kembali didalam ball mill. Selanjutnya produk glukosa kristal akan dibawa ke bagian pengemasan.