BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Bahan Baku Utama dan Penunjang

1.1.1 Glukosa

Glukosa adalah gula sederhana yang menjadi sumber energi utama bagi tubuh makhluk hidup. Glukosa memiliki rumus $C_6H_{12}O_6$ merupakan karbohidrat paling sederhana yang mudah diserap tubuh dan berperan penting dalam metabolisme energi. Glukosa diperoleh melalui hidrolisis pati yang banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, farmasi, dan kimia sebagai bahan baku pembuatan sorbitol dan etanol (Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 8 No.2, 2022).

Berdasarkan kapasitas produksi sorbitol sebanyak 30.472 ton/tahun, dibutuhkan 3.866 ton glukosa, 387 ton katalis nikel tradisional, 47,7 ton hydrogen, dan 6.089 ton air (H_2O). Adapun bahan baku glukosa diperoleh dari PT Sorini Agro Asia Corporindo yang beralamatkan di Pasuruan Jawa Timur dengan kapasitas produksi glukosa mencapai 54.000 ton/tahun. Untuk raney nickel sebagai katalis dilakukan impor dari Shandong Jiahong Chemical Co., Ltd Tiongkok dengan kapasitas produksi sebesar 2000 ton/tahun. Sedangkan oksigen diperoleh dari udara bebas.

Glukosa merupakan gula pereduksi yang bereaksi dengan agen pengoksidasi yaitu $Cu(OH)_2$. Tembaga hidroksida mengoksidasi gula pereduksi lebih cepat jika tembaga disimpan dalam larutan dengan pembentukan complex dengan tartrat ion atau ion sitrat untuk membentuk tembaga oksidasi merah. Glukosa dapat difermentasi dengan cepat oleh ragi dan organisme lain. Tingkat fermentasi dari glukosa dan sirup (Ullmann's, 2003). Glukosa memiliki sifat kimia dan fisika, berikut sifat-sifat glukosa :

A. Sifat kimia glukosa
    1. Termasuk gula reduksi (memiliki gugus aldehid yang bisa mereduksi ion logam).
    2. Dapat memutar bidang polarisasi cahaya (optik aktif).
    3. Dapat membentuk ikatan hemiasetal membentuk cincin.
B. Sifat fisika glukosa

1. Memiliki wujud padatan kristalin berwarna putih
2. Memiliki rasa manis (kurang manis dibanding dengan sukrosa)
3. Titik lebur 146 derajat C
4. Massa jenis 1,54 g/cm3
5. Sangat larut dalam air (hidrofilik) karena banyak gugus OH
6. Sedikit larut dalam alkohol dan tidak larut Dallam pelarut non polar
7. Tidak berbau dan umumnya monoklinik (α-D-glukosa) atau heksagonal (β-D-glukosa)

1.1.2 Bahan Penunjang

A. Nickel Raney

Nickel Raney adalah katalis heterogen yang berupa serbuk halus dari aloi nikel-aluminium. Setelah digesti dengan larutan NaOH, aluminium Sebagian besar dilarutkan, meninggalkan struktur berpori dari nikel yang sangat aktif secara katalitik (Singla, n.d.)

1. Sifat fisika nickel raney
   a. Berbentuk bubuk halus, berwarna abu-abu sampai gelap.
   b. Struktur 3 dimensi berpori, mesh internal dengan pori-pori yang terbentuk setelah alumunium dilas.
   c. Tidak larut dalam air atau pelarut organic biasa. Larut dalam asam mineral kuat.
   d. Umumnya memiliki pH 8,5-12 (bersifat basa) jika dalam surry dengan atau larutan basa ringan.
2. Sifat kimia nickel raney
   a. Terbuat dari aloi NI-Al alumunium Sebagian dilarutkan oleh NAOH menghasilkan kerangka nikel dengan banyak situs aktif.
   b. Katalis untuk reaksi hidrogenasi.
   c. Digunakan untuk hidrogenolisis, reduksi nitro kea mina, desulfurisasi (menghilangkan belerang dari senyawa organic), dehalogenase, dan konversi glukosa (dextrose) menjadi sorbitol.

B. Oksigen

Oksigen adalah unsur kimia non-logam golongan 16 dengan nomor atom 8. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta setelah hidrogen dan helium, serta sangat penting bagi kehidupan karena digunakan dalam respirasi dan pembakaran.

1. Sifat fisika oksigen
    a. Berwujud gas dan tidak berwarna.
    b. Tidak berbau dan tidak berasa.
    c. Sedikit larut dalam air (sekitar 30 mg/L pada 25 derajat C)
    d. Bersifat paramagnetik (tertarik medan magnet karena membawa elektron tak berpasangan).
    e. Molekul berbentuk diatomic.
2. Sifat kimia oksigen
    a. Sangat reaktif, yaitu mudah membentuk senyawa oksida dengan hamper semua unsur, baik logam maupun non-logam.
    b. Merupakan oksidator kuat, digunakan untuk membakar, mendukung respirasi, dan proses industri seperti oksidasi dan pembakaran bahan bakar.
    c. Dapat menyebabkan ledakan atau kebakaran jika bersentuhan dengan minyak, lemak, atau bahan organic dengan tekanan tinggi.

C. Air (H_2O)

Air adalah senyawa kimia yang tersusun dari dua atom hidrogen dan satu atom oksigen. Merupakan zat paling melimpah di bumi dan satu-satunya zat yang secara alami ditemukan dalam tiga wujud fisik (padat, cair, dan gas). Dalam kehidupan, air digunakan sebagai pelarut universal dan komponen utama makhluk hidup (70-90% dari masa tubuh).

1. Sifat fisika air
    a. Berwarna biru muda dalam jumlah besar dan tidak berwarna dalam jumlah kecil.
    b. Massa jenis 0,997 g/cm^3
    c. Titik leleh 0^oC, titik didih 100^oC.
    d. Pelarut universal (melarutkan banyak senyawa ionic dan polar
2. Sifat kimia air
    a. Amfoter (dapat bertindak sebagai asam atau basa)

        $H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$
    b. Reaksi hidrolisis (memecah senyawa ionic/kovalen dalam air)
    c. Disosiasi otomatis

        $[H^+][OH^-] = 10^{-14}$ (pada 25 °C)
    d. Oksidator dan reduktor lemah

e. Reaksi dengan logam alkali

$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2\uparrow$

1.1.3 Produk Utama

Sorbitol merupakan produk yang digunakan sebagai bahan pemanis pengganti gula rendah kalori pada beberapa produk. Selain itu, sorbitol juga berperan dalam mengontrol kelembaban produk atau disebut dengan humektan (Iftitah et al., 2025). Fungsi humektan pada sorbitol dapat menurunkan aktivitas air dengan mengikat air bebas pada bahan sehingga kelembapan produk akan menurun dan pertumbuhan mikroorganisme akan terhambat (ICMSF, 1980).

Sorbitol memiliki rumus kimia $C_6H_{14}O_6$. Merupakan gula alkohol dari reduksi glukosa, yaitu pengubahan gugus aldehid (-CHO) pada glukosa menjadi gugus alkohol ($-CH_2OH$). Karena itu struktur sorbitol mengandung enam atom karbon (C), empat belas atom hidrogen (H), dan enam atom oksigen (O).

Sorbitol juga mempunyai sifat kimia dan fisika, sebagai berikut :

1. Sifat fisika sorbitol
   a. Memiliki massa molekul 182,17 g/mol
   b. Berwujud padatan kristalin putih atau cairan kental tidak berwarna
   c. Memiliki rasa manis sekitar 60% kemanisan sukrosa
   d. Titik leleh pada 95–100 °C dan titik didih pada ± 295 °C
   e. Stabil pada suhu ruang, higroskopis.
2. Sifat kimia sorbitol
   a. Tergolong pada alkohol polihidrat
   b. Stabil pada pH 5-7, tetapi terurai pada kondisi sangat asam atau basa
   c. Tidak bersifat reduktor kuat karena semua gugus karbonnya adalah alkohol
   d. Dihasilkan melalui reduksi gugus aldehid glukosa menggunakan katalis logam (Ni, Ru, Pd)

1.2 Pemilihan Proses

1.2.1 Jenis-Jenis Proses

Proses pembuatan sorbitol umumnya terbagi menjadi tiga macam proses yaitu proses reduksi elektrolit, proses hidrogenasi katalitik, dan proses fermentasi (Yasir Adhi, 2019).

A. Proses hidrogenasi katalitik

Prinsip proses ini yaitu mengubah glukosa ($C_6H_{12}O_6$) menjadi sorbitol ($C_6H_{14}O_6$) melalui reaksi hidrogenasi dengan gas H_2 dengan katalis logam.

$C_6H_{12}O_6 + H_2 \rightarrow C_6H_{14}O_6$

Atau dalam bentuk senyawa

$$\text{D-Glukosa} + \text{Hidrogen} \xrightarrow[\text{Tekanan 40–100 atm}]{\text{Katalis: Raney Ni, Ru/C, Pt/C, Suhu 120–160}^\circ\text{C}} \text{D-Sorbitol}$$

Subtract : glukosa ($C_6H_{12}O_6$) yang memiliki gugus aldehid (-CHO) pada atom karbon pertama.

1. Proses: reaksi hidrogenasi reduktif, yaitu penambahan atom hidrogen pada gugus aldehid, mengubahnya menjadi gugus alkohol primer ($–CH_2OH$).
2. Produk: sorbitol ($C_6H_{14}O_6$), suatu alkohol heksahidrat (hexitol) yang memiliki enam gugus hidroksil (-OH).

Kelebihan dari proses ini yaitu memiliki hasil tinggi (>90%), waktu reaksi cepat, an proses kontinu dapat digunakan industri besar. Adapun kekurangan dari proses ini yaitu biaya yang cukup tinggi dari pada proses yang lain dan sensitif terhadap pengotor (ion logam, sulfur, atau asam).

B. Proses reduksi elektrolit

Proses elektroreduksi glukosa menjadi sorbitol menggunakan sel elektrolisis, dimana hydrogen (H^+) dihasilkan langsung di katoda melalui reaksi elektrolit air, tanpa memerlukan gas H_2 eksternal.

$C_6H_{12}O_6 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow C_6H_{14}O_6$

1. Glukosa menerima dua atom hydrogen (2H) hasil dari elektrolisis air.
2. Elektron dari katoda digunakan untuk mereduksi gugus aldehid (-CHO) menjadi gugus alkohol ($–CH_2OH$).

Kelebihan dari proses ini yaitu tidak diperlukannya gas hidrogen eksternal (lebih aman), kondisi operasi ringan (tanpa tekanan tinggi), ramah lingkungan (tanpa emisi CO2), dan bisa dikombinasikan dengan energi terbarukan. Adapun kekurangan dari proses ini yaitu efisiensi konversi masih

rendah, perlu control dan tegangan presisi, laju reaksi lambat di electrode tertentu, dan harga elektroda mulai cukup mahal.

C. Proses fermentasi

Proses fermentasi memanfaatkan mikroorganisme atau enzim untuk mereduksi glukosa menjadi sorbitol, tanpa menggunakan gas hidrogen atau katalis logam. Reaksi reduksi dikatalis oleh enzim aldose reductase atau glucose dehydrogenase yang diproduksi oleh mikroba.

$$\text{Glukosa} + \text{NADPH} + \text{H}^+ \xrightarrow[\text{Enzim / Mikroba}]{30\text{–}40\,^\circ C} \text{Sorbitol} + \text{NADP}^+$$

Berikut beberapa mikroorganisme yang efektif dalam mendukung proses fermentasi :

Tabel 2. 1 Macam Mikroorganisme Pendukung Proses Fermentasi

Mikroorganisme	Jenis	Peran
Zymomonas mobilis	Bakteri	Mengonversi glukosa → sorbitol + asam glukonat
Candida tropicalis	Ragi	Menghasilkan enzim reductase
Gluconobacter oxydans	Bakteri	Fermentasi oksidatif glukosa → sorbitol
Saccharomyces cerevisiae (modifikasi)	Ragi	Produksi sorbitol dan etanol secara bersamaan

1.2.2 Seleksi Proses

Berikut merupakan beberapa aspek dari beberapa proses guna mengetahui perbandingannya.

Tabel 2. 2 Perbandingan Proses Pembuatan Sorbitol

Aspek	Proses Hidrogenasi Katalitik	Proses Fermentasi	Proses Reduksi Elektrolit

Prinsip reaksi	Glukosa direduksi dengan gas H_2 menggunakan katalis logam	Glukosa direduksi oleh enzim / mikroba menggunakan NADPH	Glukosa direduksi oleh elektron dan ion H^+ dalam sel elektrolisis
Persamaan reaksi utama	$C_6H_{12}O_6 + H_2 \rightarrow C_6H_{14}O_6$	$C_6H_{12}O_6 + NADPH + H^+ \rightarrow C_6H_{14}O_6 + NADP$	$C_6H_{12}O_6 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow C_6H_{14}O_6$
Katalis / agen reduksi	Nickel Raney, Cu-Cr, Ni-B	Enzim aldose reductase / mikroba (Zymomonas mobilis, Candida tropicalis)	Elektroda Ni, Cu, Pt + elektrolit (Na_2SO_4, NaOH)
Suhu operasional	120–150 °C	30–40 °C	25–40 °C
Tekanan	40-100 atm	Tekanan atmosfer	Tekanan atmosfer
Sumber energi	Gas hidrogen dan panas	Energi biologis (NADPH)	Energi Listrik (DC)
Lingkungan reaksi	Reactor tekanan tinggi	Bioreactor	Sel elektrolisis
Kelebihan	Produksi cepat, hasil tinggi (> 90%)	Ramah lingkungan, suhu rendah, tanpa H_2	Tidak putus H_2, control mudah
Kekurangan	Butuh tekanan tinggi dan logam berat	Proses lambat, perlu sterilisasi	Efisiensi Listrik rendah, penerapan masih kurang karena masih riset
Kemurnian produk	95 – 98 %	80 – 90 %	85 – 95 %
Skala industri	Sudah luas digunakan	Masih dalam tahap pengembangan	Masih tahap laboratorium

Berdasarkan tabel perbandingan proses pembuatan sorbitol diatas, maka dapat dipilih proses hidrogenasi katalitik. Adapun alasan memilih proses ini berdasarkan beberapa alasan bahwa :

1. Reaksi hidrogenasi katalitik dapat mencapai konversi glukosa > 98% dan kemurnian sorbitol mencapai 99%.
2. Reaksi yang berlangsung hanya dalam beberapa jam (2-4 jam), apabila dibandingkan dengan proses lain, proses hidrogenasi katalitik termasuk yang paling efisien, sehingga meningkatkan produktivitas pabrik.
3. Sistem reaktor tekanan tinggi dengan katalis logam memungkinkan operasi continu, efisien, dan mudah dikendalikan secara otomatis.
4. Tidak menghasilkan limbah biologis atau gas beracun, hasil reaksi hanya berupa sorbitol dan air.
5. Menggunakan katalis yang dapat diregenerasi, sehingga menurunkan biaya operasi.
6. Sorbitol hasil hidrogenasi dapat langsung digunakan untuk memproduksi sorbitan, surfaktan, vitamin C, dan poliol lainnya tanpa tahap pemurnian kompleks.
7. Proses hidrogenasi katalitik merupakan metode paling efisien dan ekonomis secara industri untuk menghasilkan sorbitol dengan kemurnian tinggi.

1.2.3 Uraian proses

Produksi sorbitol dari glukosa melalui proses hidrogenasi katalitik dilakukan dalam 3 tahap (Mailani & Pratiwi, 1998):

1. Tahap pencampuran glukosa
2. Tahap hidrogenasi katalitik
3. Tahap pemisahan produk

Pembuatan sorbitol menggunakan proses hidrogenasi katalitik dilakukan dengan mereaksikan larutan glukosa dan gas hidrogen bertekanan tinggi di dalam reaktor gelembung dengan bantuan katalis nikel. Larutan glukosa diumpankan pada bagian atas reactor selangkangan hydrogen masuk secara bubbling melalui bagian bawah reactor. Hal tersebut dilakukan agar terjadi kontak maksimal.

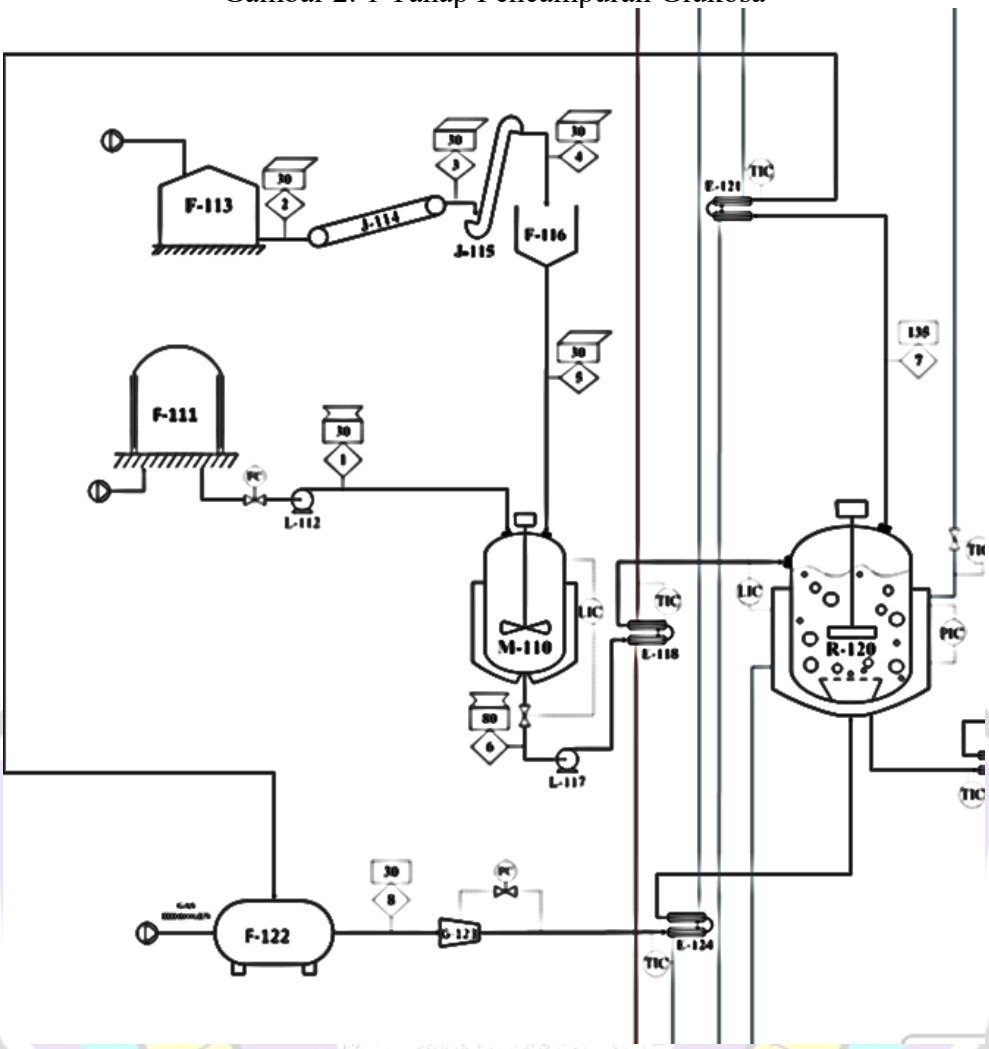
A. Tahap pencampuran glukosa

Tahap ini dilakukan sebelum reaksi hidrogenasi, sebagai persiapan campuran reaktan agar homogen dan siap direduksi menjadi sorbitol. Tahap ini bertujuan untuk membuat campuran glukosa + pelarut + katalis yang homogen dan stabil,

menjamin distribusi katalis merata, agar reaksi hidrogenasi berlangsung maksimal, dan menyesuaikan konsentrasi glukosa dan pH agar sesuai dengan kondisi reaksi (glukosa 40-70%). Bahan yang dicampurkan dalam tahap ini yaitu larutan glukosa murni sebagai bahan baku utama, air deionisasi sebagai pelarut, katalis logam nikel raney untuk mempercepat reaksi reduksi dengan kapasitas 1-5% dari berat terhadap glukosa, dan gas H_2 sebagai agen pereduksi pada tahap reaksi.

Bahan baku glukosa ($C_6H_{12}O_6$) (F-111) dengan konsentrasi 50% dipompa menuju tangki pencampur (M-110) untuk dicampur dengan katalis raney nikel (Ni) (F-120) dengan konsentrasi 2% berdasarkan berat glukosa, agar terbentuk slurry glukosa-nikel. Kemudian slurry glukosa nikel tersebut dipompa ke reaktor gelembung (R-120) melalui bagian atas reactor yang sebelumnya dinaikkan suhunya menjadi 135°C oleh heater (E-121). Gas hidrogen dari tangki penyimpanan (F-122) dinaikkan tekanannya menjadi 178°C maka gas hydrogen didinginkan menggunakan cooler 1 (E-124) hingga suhunya mencapai 135°C dan setelah itu diumpankan secara gelembung ke reaktor gelembung (R-210) melalui bagian bawah reactor.

Gambar 2. 1 Tahap Pencampuran Glukosa



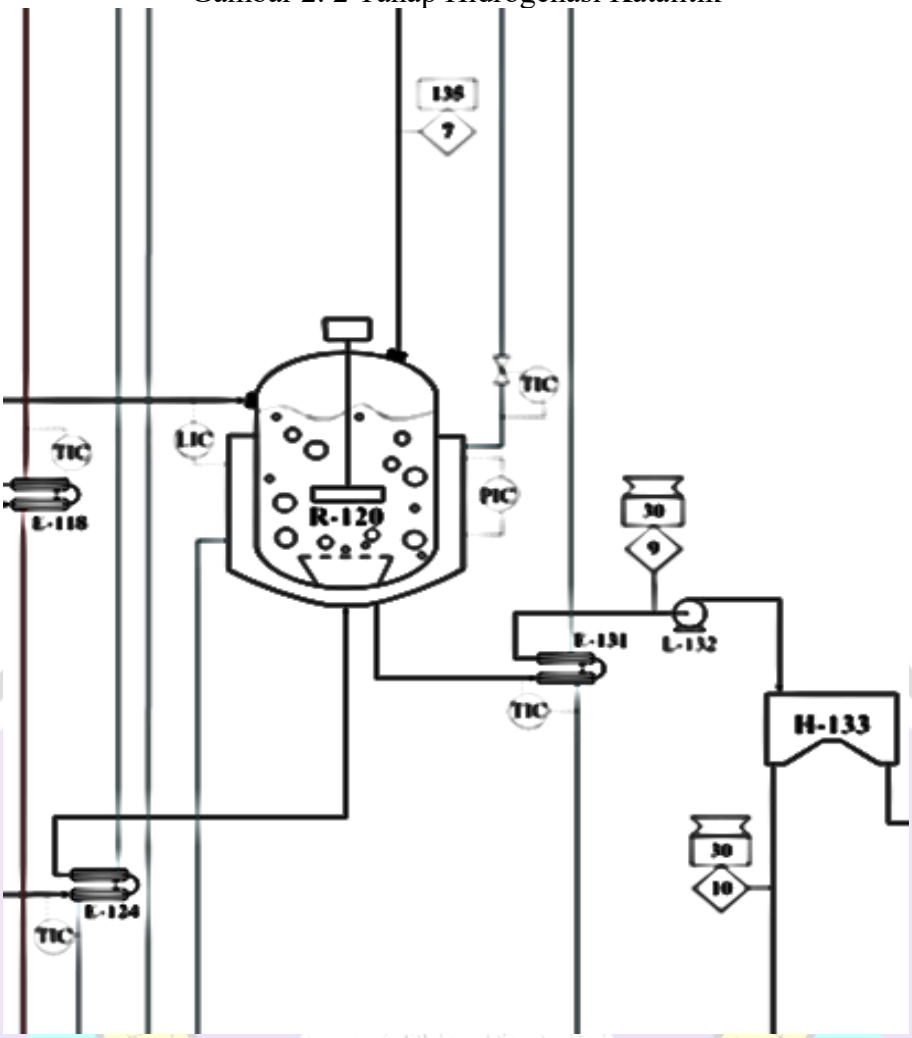
B. Tahap Hidrogenasi Katalitik

Dalam reaktor gelembung (R-120), glukosa akan bereaksi dengan gas hidrogen dengan bantuan katalis raney nikel. Konversi reaksi pada proses ini sebesar 97% pada tekanan atmosferis. Reaksi berlangsung endoterm maka untuk menjaga agar suhu larutan 135°C digunakan pendingin berupa coil. Reaksi yang terjadi dalam reaktor adalah :

$C_6H_{12}O_6 + H_2 \rightarrow C_6H_{14}O_6$

Glukosa Hidrogen Sorbitol

Gambar 2. 2 Tahap Hidrogenasi Katalitik

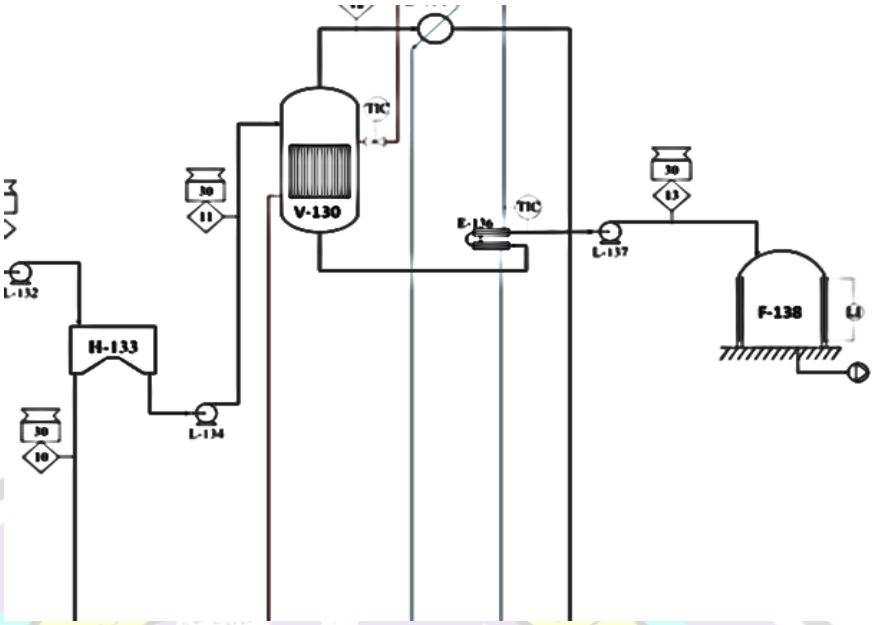


C. Tahap Pemurnian Sorbitol

Keluaran reaktor gelembung (R-120) terbagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian atas dan bawah. Keluaran bagian atas berupa gas hidrogen sisa yang didinginkan dengan cooler 2 E-211 dan selanjutnya direcycle ke tangka hydrogen. Sedangkan keluaran bagian bawah berupa larutan sorbitol, glukosa, air, dan nikel yang didinginkan menggunakan cooler 3 (E-131) hingga suhu mencapai 30°C kemudian dialirkan menuju centrifuge (H-133) untuk memisahkan katalis Ni dari larutan. Cake yang dihasilkan dibuang ke UPL, sedangkan filtrate diumpankan ke dalam evaporator (V-130) untuk menguapkan Sebagian besar air dari larutan, sehingga diperoleh sorbitol dengan kemurnian 85%. Hasil atas evaporator (V-130) yang berupa air dan glukosa dibuang ke UPL yang sebelumnya dikondensasikan menggunakan kondensor (E-135). Sedangkan hasil bawah evaporator (V-130) didinginkan menggunakan cooler 4

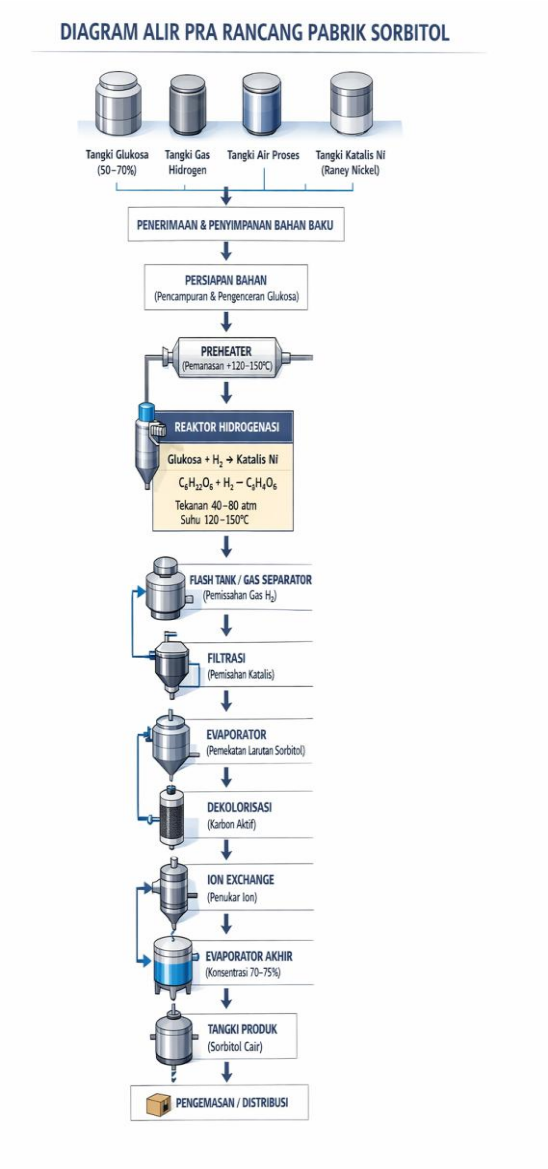
(E-136) hingga suhu menjadi 30°C dan ditampung dalam tangki penampung produk sorbitol (F-138).

Gambar 2. 3 Tahap Pemurnian Sorbitol



2.3 Diagram Alir

Gambar 2. 4 Diagram Alir Proses



2.3.1 Instrumen. K3 dan Utilitas

A. Instrumen Alat

Instrumen alat merupakan bagian penting dalam menyiapkan peralatan yang digunakan untuk menghasilkan produk. Instrument merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk mengukur, mengontrol dan memonitor variable proses seperti suhu, tekanan, aliran dan level (Handbook, n.d.). Adapun tujuan dari adanya instrumentasi pada pabrik antara lain :

1. Menjaga Keselamatan (*Safety*)

Instrument digunakan untuk mendeteksi kondisi abnormal seperti suhu dan tekanan berlebih agar dapat dilakukan Tindakan pengamanan (alarm, shutdown otomatis) (Handbook, n.d.)

2. Mengontrol Variabel Proses

   Instrumentasi menjaga variable seperti suhu, tekanan, aliran dan level tetap pada nilai yang telah ditentukan (set point) (Donald P.Eckman, 2002).

3. Meningkatkan kualitas Produk

   Menurut George Stephanopoulos pengendalian proses yang baik menghasilkan konsistensi kualitas produk dan efisiensi produksi (neal r amundson, n.d.)

4. Meningkatkan Efisiensi dan Ekonomi Proses

   Instrumentasi membantu mengoptimalkan penggunaan bahan baku dan energi sehingga biaya produksi lebih rendah

Tabel 2. 3 Instrumen yang digunakan pada peralatan pra rancang pabrik sorbitol dari glukosa dengan proses hidrogenasi katalitik

No	**Unit Proses**	**Kode Instrumen (ISA)**	**Nama Instrumen**	**Variabel yang Diukur/Dikontrol**	**Lokasi Pemasangan**	**Fungsi**
1	Tangki Glukosa	LT	Level Transmitter	Level cairan	Dinding samping tangki	Mengontrol volume bahan baku
2	Tangki Glukosa	TI	Temperature Indicator	Suhu	Nozzle atas tangki	Monitoring suhu penyimpanan
3	Jalur Umpan	FT	Flow Transmitter	Laju alir	Pipa sebelum reaktor	Mengukur aliran glukosa
4	Jalur Umpan	CV	Control Valve	Laju alir	Pipa masuk reaktor	Mengatur debit umpan

5	Pompa Umpan	PT	Pressure Transmitter	Tekanan	Discharge pompa	Monitoring tekanan sistem
6	Reaktor Hidrogenasi	TT	Temperature Transmitter	Suhu	Inlet, tengah, outlet reaktor	Kontrol suhu reaksi
7	Reaktor Hidrogenasi	PT	Pressure Transmitter	Tekanan	Bagian atas reaktor	Monitoring tekanan operasi
8	Reaktor Hidrogenasi	PSV	Pressure Safety Valve	Tekanan maksimum	Nozzle atas reaktor	Pengaman overpressure
9	Jalur H_2	FT	Flow Transmitter	Laju alir gas	Pipa sebelum reaktor	Kontrol rasio H_2
10	Flash Tank	LT	Level Transmitter	Level cairan	Badan separator	Kontrol pemisahan gas
11	Flash Tank	PT	Pressure Transmitter	Tekanan	Bagian atas separator	Monitoring tekanan
12	Filter Katalis	DPT	Differential Pressure Transmitter	ΔP	Inlet–Outlet filter	Deteksi penyumbatan
13	Evaporator	TT	Temperature Transmitter	Suhu	Steam line/shell	Kontrol pemanasan
14	Evaporator	PT	Pressure Transmitter	Tekanan vakum	Badan evaporator	Kontrol tekanan vakum

15	Tangki Produk	LT	Level Transmitter	Level produk	Dinding tangki	Monitoring kapasitas produk

Dalam memilih instrumentasi yang yang perlu diperhatikan adalah merencanakan pemilihan alat dan Lokasi pemasangan agar jalannya proses tidak terhambat dan dapat menghindari kerusakan alat dalam jangka waktu yang panjang. Perlu dicatat bahwa jika liabilitas lebih tinggi, biaya instrument material akan lebih rendah.

2.3.2 Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) adalah upaya untuk menjamin dan melindungi keselamatan serta kesehatan tenaga kerja melalui pencegahan kecelakaan dan penyakit akibat kerja (neal r amundson, n.d.). K3 bertujuan memastikan kondisi kerja yang aman dan sehat bagi pekerja dengan menetapkan standar keselamatan industri.

Adapun potensi bahaya pada pabrik sorbitol yaitu :

Tabel 2. 4 Resiko pada pabrik sorbitol

No	Sumber Bahaya	Resiko
1.	Gas hydrogen	Mudah terbakar dan eksplosif
2.	Reaktor Tekanan Tinggi	Overpressure / ledekan
3.	Suhu Tinggi	Luka bakar
4.	Katalis Nikel	Iritasi dan bahaya debu logam
5.	Sistem Uap (Steam)	Ledakan pipa

A. APD Wajib di Area Proses

Berikut merupakan jenis APD yang wajib ada pada pabrik sorbitol

Tabel 2. 5 K3 APD wajib

No	APD	Fungsi	Area

1.	Helm keselamatan	Melindungi kepala dari benturan	Seluruh area proses
2.	Safety goggles	Melindungi mata dari percikan bahan kimia	Area reactor dan filtrasi
3.	Face shield	Perlindungan tambahan wajah	Unit filtrasi dan pemurnian
4.	Sarung tangan tahan kimia	Melindungi tangan dari larutan dan katalis	Unit filtrasi dan pemurnian
5.	Sepatu safety	Melindungi kaki dari benda berat	Area produksi
6.	Wearpack	Mengurangi resiko luka bakar	Area reactor
7.	Respirator / masker	Melindungi dari debu katalis nikel	Area penggantian katalis
8.	Ear plug	Mengurangi kebisingan	Area pompa dan kompresor

B. Peralatan Perlindungan Area

Berikut beberapa alat perlindungan area pa pabrik sorbitol ini.

Tabel 2. 6 Peralatan Perlindungan Area

No	Sistem	Fungsi	Lokasi
1	Gas Detector H_2	Deteksi kebocoran hidrogen	Sekitar reaktor & jalur H_2
2	Alarm System	Peringatan kondisi bahaya	Control room & area proses
3	PSV (Pressure Safety Valve)	Pengaman tekanan berlebih	Reaktor & tangki
4	Rupture Disc	Proteksi tambahan overpressure	Reaktor

5	Fire Hydrant	Pemadaman kebakaran	Area luar pabrik
6	APAR (CO_2 / Dry Chemical)	Pemadam awal kebakaran	Setiap unit proses
7	Emergency Shower & Eyewash	Pertolongan pertama paparan kimia	Area filtrasi
8	Ventilasi & Exhaust System	Mengurangi akumulasi gas	Area tertutup
9	Grounding System	Mencegah percikan listrik statis	Tangki & jalur H_2
10	Emergency Exit & Assembly Point	Jalur evakuasi	Seluruh area pabrik

2.3.3 Utilitas

Utilitas adalah sistem penunjang yang menyediakan energi, media pemanas atau pendingin dan kebutuhan operasi agar proses produksi berjalan stabil, aman, dan efisien. Menurut George Stephanopoulos, sistem utilitas merupakan bagian penting dalam pengendalian dan kestabilan operasi proses kimia (neal r amundson, n.d.)

A. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (Water Treatment System)

Unit ini berfungsi menyediakan air pendingin, air umpan boiler dan air sanitasi untuk air perkantoran dan air untuk perumahan.

1. Unit Penyediaan Air

Dalam memenuhi kebutuhan air suatu industri, pada umumnya menggunakan air sumur, air Sungai, air danau maupun air laut sebagai sumber untuk mendapatkan air. Dalam perancangan pabrik Sorbitol ini, sumber air yang digunakan berasal dari air Sungai yang terdekat dengan pabrik. Pertimbangan menggunakan air Sungai sebagai sumber untuk adalah :

a. Air Sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya relatif tinggi, sehingga kendala kekurangan air dapat dihindari.
b. Pengolahan air Sungai relatif lebih mudah, sederhana dan biaya pengolahan relatif murah dibandingkan dengan proses pengolahan air laut yang lebih rumit dan biaya pengolahan umumnya lebih besar.

c. Letak sungai berada dekat dengan pabrik.
d. Jumlah air sungai lebih banyak dibandingkan dengan air sumur.

Adapun air yang diperlukan oleh pabrik sorbitol ini adalah :

a. Air Pendingin

Umumnya digunakan sebagai media pendingin karena factor-faktor berikut :

1. Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah besar.
2. Mudah dalam pengolahan dan pengaturannya.
3. Dapat menyerap jumlah panas yang relatif tinggi.
4. Tidak mudah menyusut alam batasan dengan adanya perubahan temperatur pendingin.

b. Tidak terdekomposisi.

1. Air Umpan Boiler (Boiler Feed Water)

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler adalah :

a) Zat-zat yang dapat menyebabkan korosi

Korosi yang terjadi dalam boiler disebabkan air mengandung larutan-larutan asam, gas-gas terlarut seperti O2, CO2, H2S dan NH3, O2 masuk karena aerasi maupun kontak dengan udara luar.

b) Zat yang dapat menyebabkan kerak *(scale forming)*

Pembentukan kerak disebabkan adanya kesadahan dan suhu tinggi, yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silika. Kerak dalam boiler dapat menyebabkan isolasi terhadap proses perpindahan panas terhambat dan kerak yang terbentuk dapat pecah sehingga dapat menimbulkan kebocoran.

c) Zat yang menyebabkan foaming

Air yang diambil Kembali dari proses pemanasan bisa menyebabkan foaming pada boiler karena adanya zat-zat organic yang tak larut dalam jumlah besar.

2. Air Sanitasi

Air sanitasi adalah air yang akan digunakan untuk keperluan sanitasi. Air ini antara lain untuk keperluan perumahan, perkantoran,

laboratorium, dan masjid. Air sanitasi harus memenuhi kualitas tertentu, yaitu :

a) Syarat fisika, memiliki suhu di bawah udara, warna jernih, tidak berasa, dan tidak berbau.
b) Syarat kimia, tidak mengandung zat organic dan anorganik yang terlarut dalam air. Air sanitasi tidak mengandung bakteri, terutama bakteri patogen yang dapat merubah sifat fisik air.

2. Unit Pengolahan Air

Dalam pra rancang pabrik sorbitol ini, kebutuhan air diambil dari Sungai yang terdekat dengan pabrik. Adapun tahap-tahap proses pengolahan air yang dilakukan yaitu :

a. Penyaringan Awal
b. Bak Pengendap
c. Premix Tank
d. Clarifier
e. Penyaring Pasir
f. Bak Penampung Sementara
g. Tangki Klorinator
h. Kation Exchanger
i. Anion Exchanger
j. Unit Deaerator
k. Bak Air Pendingin

3. Unit Pembangkit Steam (Steam Generation System)

Unit ini berfungsi menyediakan panas yang digunakan di heat exchanger dan reboiler. Unit ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan steam pada proses produksi, yaitu dengan menyediakan ketel uap (boiler). Boiler tersebut dilengkapi dengan sebuah unit economizer safety valve system dan pengaman-pengaman yang bekerja secara otomatis.

Di dalam boiler, api yang keluar dari alat pembakaran (burner) bertugas untuk memanaskan Lorong api dan pipa-pipa api. Gas sisa pembakaran ini masuk ke economizer sebelum dibuang melalui cerobong asap, sehingga air dalam boiler menyerap panas dari dinding-dinding dan pipa-pipa api maka air menjadi mendidih, uap air yang terbentuk terkumpul sampai

didistribusikan tekanan 10 bar, baru kemudian dialirkan ke steam header untuk didistribusikan ke area-area proses.

4. Unit Pembangkit Listrik

Unit ini berfungsi menyediakan tenaga penggerak untuk peralatan proses, keperluan pengelolahan air, peralatan-peralatan elektronik atau Listrik AC dan penerangan. Listrik diperoleh dari PLN dan Generator Set sebagai Cadangan apabila PLN dan Generator Set sebagai Cadangan PLN mengalami gangguan.

Kebutuhan Listrik pada barik ini dipenuhi oleh 2 sumber, yaitu PLN dan generator diesel. Selain sebagai tenaga Cadangan apabila PLN mengalami gangguan, diesel juga dimanfaatkan untuk menggerakkan power-power yang dinilai penting antara lain boiler, kompresor, pompa. Spesifikasi diesel yang digunakan adalah :

Kapasitas : 500kWh
Jenis : Generator Diesel
Jumlah : 1 buah

Kebutuhan Listrik untuk alat proses terdapat pada tabel 2.7

Tabel 2. 7 Kebutuhan Listrik

Alat	**Kode Alat**	**Daya**	
		Hp	**Watt**
Pompa	P-101	15	11.185.5
Pompa	P-102	100	74.570
Pompa	P-103	7.5	5.592,75
Pompa	P-104	7.5	5.592,7
Pompa	P-105	4	2.982,8
Pompa	P-106	10	7.457
Pompa	P-107	10	7.457
Pompa	P-108	20	14.914

Kompresor	C-101	25	18.642,5
Total		239.000	178.222,300

5. Unit Penyedia Udara Instrumen (Instrument Air System)

   Unit ini berfungsi menyediakan udara tekan untuk menjalankan sistem instrumentasi. Udara tekan diperlukan untuk alat control *pneumatic.*

6. Unit Penyediaan Bahan Bakar

   Unit ini berfungsi menyediakan bahan bakar untuk boiler dan generator. Bahan bakar yang digunakan untuk generator adalah sola. Sedangkan bahan bakar yang dipakai pada boiler adalah fuel oil. Dibtuhkan bahan bakar sebanyak 34,9279 kg/jam.

7. Unit Pengolahan Limbah atau Air Buangan

   Limbah dihasilkan dari proses di pabrik ini berupa limbah cair. Sebelum dibuang ke lingkungan, limbah tersebut diolah terlebih dahulu hingga memenuhi baku mutu lingkungan. Limbah cair yang dihasilkan dalam pabrik ini adalah :

   a. Air buangan sanitasi yang mengandung bakteri-bakteri dari berbagai sumber kotoran.
   b. Air limbah dari laboratorium diolah melalui beberapa proses terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan karena mengandung zat-zat kimia.

1.4 Lokasi Pendirian

Pemilihan dan penentuan letak suatu pabrik sangat penting dalam perencanaan pabrik dan akan mempengaruhi kemajuan serta kelangsungan suatu industri. Hal tersebut menyangkut faktor produksi dan besarnya keuntungan yang dihasilkan serta perluasan di masa yang akan datang. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan Lokasi pabrik yang tepat yaitu pabrik tidak hanya dibangun dengan production cost dan operating coost yang minimum, tetap tersedianya ruang untuk perluasan pabrik juga menjadi hal yang dipertimbangkan.

1.4.1 Faktor Primer Penentu Lokasi Pabrik

Faktor primer yang berpengaruh secara langsung dalam pemilihan Lokasi pabrik meliputi :

1. Ketersediaan bahan baku
2. Sarana utilitas yang cukup dan memadai
3. Transportasi dan distribusi yang lancer
4. Pemasaran yang cukup potensial
5. Penyediaan sumber daya manusia (tenaga kerja)
6. Keadaan iklim yang stabil

Dengan memperhatikan faktor-faktor yang dipertimbangkan di atas, maka Lokasi yang tepat dan memenuhi syarat untuk Lokasi pendirian pabrik sorbitol direncanakan dibangun di daerah Gresik, Jawa Timur. Dan Lokasi pabrik dapat dilihat pada gambar 5.

Gambar 2. 5 Lokasi Pendirian Pabrik

