



BAB II

SELEKSI DAN URAIAN PROSES

II.1 Macam-macam Proses

1. Reduksi Elektrolitik

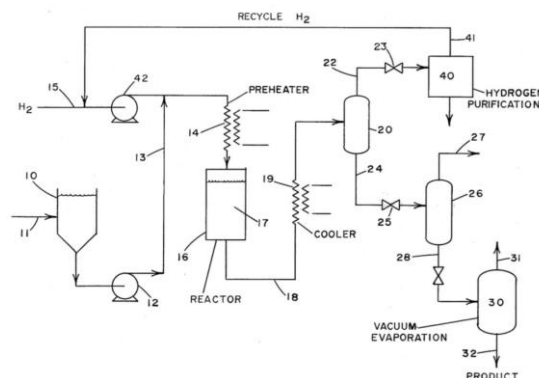
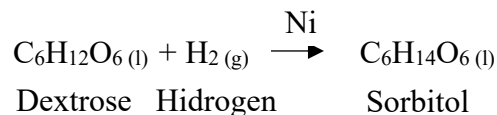
Proses reduksi elektrolitik dextrose menjadi sorbitol merupakan salah satu metode awal yang digunakan secara industri sebelum tahun 1950, di mana dextrose direduksi dalam sel elektrolit menggunakan katoda berbahan merkuri, timbal, atau paduan logam lainnya, dan anoda dari grafit atau timbal, dalam larutan basa yang mengandung natrium sulfit. dengan melarutkan glukosa murni dan natrium sulfit dalam air hingga membentuk larutan alkali, kemudian dialirkan ke dalam sel elektrolit sederhana tanpa diafragma. Sel ini biasanya dilengkapi dengan katoda yang terbuat dari logam seperti timbal atau paduannya, serta anoda dari grafit atau timbal. Dalam beberapa kasus, katoda yang mengandung merkuri digunakan karena mampu membentuk amalgam yang mudah terurai dengan natrium, sehingga dapat menghasilkan gas hidrogen. Dengan cara ini sulfit diubah menjadi sulfat dan hidrogen yang dihasilkan dari katoda akan mereduksi dextrose menghasilkan senyawa sorbitol dan produk samping manitol (Rudolf & Kolb, 1950 'US Patent'). Pada proses ini penggunaannya mulai ditinggalkan karena adanya kelemahan signifikan seperti penggunaan logam berat beracun (misalnya merkuri), konversi umumnya 77%-90%, konsumsi energi listrik yang tinggi, biaya operasional besar, serta tingkat kematangan teknologi yang masih rendah jika dibandingkan dengan metode hidrogenasi katalitik yang lebih modern dan ramah lingkungan (Paolo et al., 2025).

2. Proses hidrogenasi katalitik

Proses hidrogenasi katalitik dekstroza menjadi sorbitol merupakan metode kimia yang paling umum dan telah digunakan secara luas dalam skala industri. Dekstrose monohydrate, yang diperoleh dari hidrolisis pati, direduksi melalui reaksi hidrogenasi dengan mengubah gugus karbonil



menjadi gugus alkohol menggunakan gas hidrogen bertekanan dan katalis logam seperti nikel (Ni), platinum (Pt), atau ruthenium (Ru). Di antara katalis tersebut, nikel paling banyak digunakan karena harganya relatif murah dan memiliki elektronegativitas tinggi yang membuat proses lebih efisien dan ekonomis. Proses ini melibatkan beberapa tahap, dimulai dari persiapan bahan baku berupa dextrose monohydrate, air, dan hidrogen. Dekstrosa bersifat higroskopis sehingga harus disimpan dalam wadah tertutup. Campuran dekstrose monohydrate dan air menjadi larutan dekstrose dengan konsentrasi tertentu dimasukkan ke dalam reaktor bersama hidrogen bertekanan tinggi. Reaksi berlangsung pada suhu antara 130–180 °C dengan tekanan 34-136 atm , dengan pengaturan suhu yang hati-hati agar katalis tidak rusak (Chao et al., 1982 'US Patent'). Setelah reaksi selesai, campuran yang mengandung sorbitol, sisa hidrogen, dan produk samping diproses lebih lanjut melalui unit pemurnian dan pemekatan untuk memperoleh sorbitol murni dengan kadar air rendah (Fani et al., 2024).



Gambar II. 1 Flowsheet pembentukan sorbitol dengan proses hidrogenasi katalitik

(Sumber: (Chao et al., 1982 'US Patent')



Berikut analisis ekonomi awal sorbitol tipe-015 dari dextrose monohydrate dengan proses hidrogenasi katalitik:

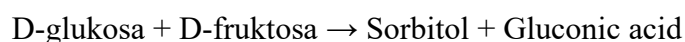
Tabel II. 1 Tabel potensial ekonomi pabrik sorbitol dari dextrose monohydrate dengan proses hidrogenasi katalitik

Parameter	Bahan Baku				Produk
Reaksi	Larutan Dextrose	+	Hidrogen	→	Sorbitol
BM (Kg/Kmol)	180,16	+	2,0157	→	182,17
Mol (Kmol)	0,0055	+	0,0055	→	0,0055
Massa (Kg)	0,9890	+	0,0111	→	1
Harga / Kg	Rp 11.000,00	+	Rp 16.000,00	→	Rp 17.000,00
Harga total kebutuhan	Rp 10.878,63	+	Rp 177,04	→	Rp 17.000,00

Hal	Nilai	Perbandingan
Harga bahan baku	Rp 11.055,67	1
Harga produk	Rp 17.000,00	1,5377
Keuntungan	Rp 5.944,33	

3. Bioteknologi (Enzim dan Bakteri)

Produksi sorbitol secara bioteknologi dengan menggunakan *Zymomonas mobilis* telah banyak dipelajari, karena mikroorganisme ini memiliki kemampuan unik untuk mengkatalisis reaksi redoks yang mengubah glukosa dan fruktosa menjadi sorbitol dan asam glukonat melalui enzim glucose-fructose oxidoreductase (GFOR) dan glucono-δ-lactonase (GL) (Sprenger, 1994). Mekanisme reaksi dikatalisis oleh glucose-fructose oxidoreductase yang terjadi dapat disederhanakan sebagai berikut:



Hal ini menunjukkan bahwa konversi sorbitol oleh *Z. mobilis* tergantung pada adanya campuran glukosa dan fruktosa untuk kerja



GFOR/GL artinya glukosa sendiri saja tidak akan banyak menghasilkan sorbitol tanpa fruktosa (Silveira et al., 1999). Beberapa penelitian eksperimental juga memperlihatkan bahwa *Z. mobilis* meningkatkan produksi sorbitol ketika media mengandung konsentrasi gula yang tinggi dan fruktosa dihasilkan dari hidrolisis sukrosa (Barros et al., 2002), dan bahwa produksi sorbitol meningkat secara signifikan pada tekanan osmotik tinggi (Barros et al., 2006). Hal ini menunjukkan peran fisiologis sorbitol sebagai solut kompatibel guna mengatasi tekanan osmotik yang tinggi pada media kultur *Z. mobilis* (Sprenger, 1994)

Walaupun pendekatan bioteknologi ini memiliki keunggulan seperti operasi pada kondisi lembut (suhu rendah dan tekanan atmosferik) serta potensi pengurangan dampak lingkungan, metode ini memiliki beberapa kelemahan penting bila digunakan untuk produksi sorbitol dari dextrose monohydrate (DMH). Pertama, proses *Z. mobilis* sangat bergantung pada kombinasi glukosa dan fruktosa sebagai substrat aktif bagi enzim GFOR/GL, sehingga apabila hanya tersedia glukosa murni dari DMH, produksi sorbitol tidak terjadi atau sangat rendah tanpa tambahan fruktosa atau konversi glukosa terlebih dahulu (Braga et al., 2021). Kedua, karena produksi sorbitol diikuti oleh pembentukan asam glukonat, tahap pemurnian menjadi lebih kompleks dan menambah biaya operasional jika sorbitol murni yang diinginkan. Ketiga, laju produksi bergantung pada keadaan fisiologis sel dan sensitif terhadap variasi media dan kondisi kultur, sehingga kurang stabil apabila dioperasikan dalam skala industri besar tanpa kontrol yang sangat ketat. Karena itu, meskipun pendekatan *Z. mobilis* menarik dari sisi bioteknologi, proses kimia hidrogenasi katalitik glukosa menjadi sorbitol tetap dipilih secara umum dalam perancangan pabrik sorbitol berbasis DMH, karena lebih sederhana, memiliki konversi langsung glukosa menjadi sorbitol tanpa membutuhkan co-substrat, serta lebih mudah diintegrasikan dalam operasi skala besar.



II.2 Pemilihan Proses

Tabel II. 2 Pemilihan Proses

No	Parameter	Proses Produksi Sorbitol Tipe-015		
		Reduksi Elektrolitik	Hidrogenasi Katalitik	Bioteknologi
Aspek Proses				
1	Alat reaksi utama	Sel elektrolit dengan katoda : merkuri membentuk amalgam & anoda: timbal (US Patent, 1950)	Autoklaf, Reaktor fixed bed (US Patent, 1982)	Bioreaktor
2	Bahan pendukung	Natrium sulfit (US Patent, 1950)	Katalis nickel (US Patent, 1982)	Bakteri : <i>Zymomonas Mobilis</i> (Vignoli, et al, 2006)
3	Kondisi operasi	T = 30°C (Paolo, 2023)	T = 130 - 180°C ; P = 34 – 136 atm (Paolo, 2023)	T = 39°C ; pH = 6,5 (Silveira, 1999)
4	Konversi reaksi	77% - 90% (US Patent, 1950) (Paolo, 2023)	98% - 100% (US Patent, 1982)	95% - 97% (Silveira, 1999)
5	Waktu proses	Waktu lama menghasilkan produk hingga 10 jam (Paolo, 2023)	Waktu lebih cepat 1 – 2 jam (Xi, 2023) (US Patent, 1982)	Waktu lama untuk proses fermentasi 8 jam & peremajaan bakteri ± 48 jam
6	Kualitas produk	Resiko terkontaminasi amalgam & perlu pemurnian tambahan	Tinggi kemurnian > 68% dan tidak ada produk samping, cocok skala industri	Produk samping <i>gluconic acid</i> yang harus dipisahkan
Aspek Ekonomi				
7	Aspek ekonomi	Harga elektroda mahal, energi listrik tinggi, & daya besar	Murah & mudah didapat (Hidrogen & katalis Raney Nickel)	Penggunaan mikroba dan membran pemisahan yang mahal

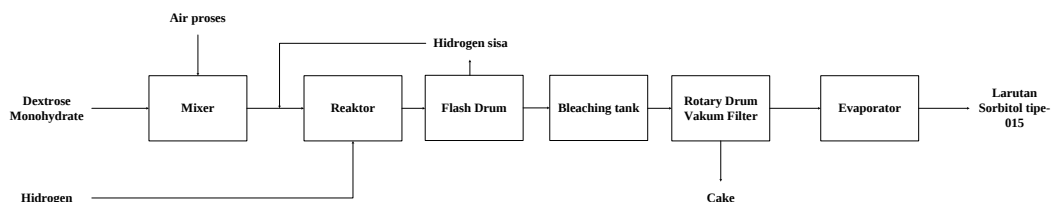


Berdasarkan perbandingan aspek proses dan ekonomi, proses hidrogenasi katalitik dipilih sebagai metode yang paling sesuai untuk produksi sorbitol tipe-015 dari dextrose monohydrate. Proses ini memiliki konversi reaksi yang tinggi (98-100%), waktu proses yang relatif cepat, dan menghasilkan sorbitol dengan kualitas tinggi yang cocok untuk kebutuhan industri. Selain itu, dari sisi ekonomi, proses ini lebih efisien karena menggunakan bahan katalis yang mudah diperoleh dan relatif murah dibandingkan dengan proses lainnya yang memerlukan biaya operasional dan bahan yang lebih mahal.

II.3 Uraian Proses

Secara umum, proses produksi sorbitol terdiri dari empat tahapan utama, yaitu:

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap reaksi hidrogenasi
3. Tahap Pemisahan dan Pemekatan
4. Tahap penyimpanan produk



Gambar II. 2 Diagram Alir Dasar Pembuatan Sorbitol

II.3.1 Tahap Persiapan bahan Baku

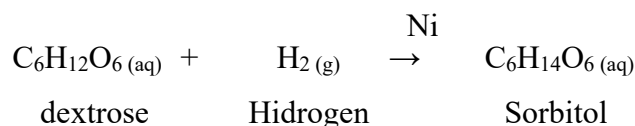
Dextrose monohydrate (DMH) kristal padatan yang berasal dari tangki penyimpanan *dextrose monohydrate* (DMH) dialirkan ke unit pencampur atau tangki pencampur untuk dilakukan proses pelarutan dengan air proses hingga mencapai konsentrasi 50% (w/w). Sebelum memasuki reaktor, larutan tersebut dipompa menggunakan *reciprocating pump* untuk menaikkan tekanannya dari 1 atm ke 80 atm, lalu dipanaskan hingga suhu operasional reaktor sebesar 140°C. Sementara itu, gas hidrogen yang disimpan dalam bentuk gas pada spherical tank yang



sebelumnya telah disuplai oleh PT Air Liquide Indonesia melalui jaringan pipa bertekanan tinggi, dengan spesifikasi tekanan 100 atm dan suhu 30°C, lalu diexpander dan heater untuk menurunkan tekanan dan menaikkan suhu guna menyesuaikan tekanan dan suhu reaktor yaitu sekitar 80 atm dan 140°C dalam proses hidrogenasi.

II.3.2 Tahap Reaksi Hidrogenasi

Larutan dextrose dan hidrogen yang telah melalui tahap persiapan bahan baku, dengan kondisi operasi tekanan yang disesuaikan hingga 80 atm dan suhu sebesar 140°C, selanjutnya dialirkan ke dalam reaktor *fixed bed* jenis *multitube* yang berisi katalis padat berupa raney-nikel. Selama proses berlangsung, aliran bahan baku melewati lapisan katalis tersebut. Suhu produk yang keluar dari reaktor tetap berada pada 140°C. Reaktor *fixed bed* jenis *multitube* ini mampu mencapai efisiensi konversi yang tinggi, yaitu sebesar 98%.



Produk keluaran reaktor berupa larutan sorbitol yang masih mengandung air, sedikit larutan dextrose dan hidrogen yang tidak terkonversi. Aliran keluaran reaktor selanjutnya mengalami penurunan tekanan dan suhu menggunakan *expansion valve* dan *cooler* hingga mencapai kondisi operasi flash drum, yaitu sekitar 90°C dan 1 atm. Pada kondisi tersebut, komponen gas dan cair dipisahkan berdasarkan perbedaan fase di dalam *flash drum*. Larutan sorbitol yang berada pada fase cair dialirkan menuju tahap dekolorisasi.

II.3.3 Tahap Pemisahan dan Pemekatan

a. Tahap Pemisahan Hidrogen

Aliran gas yang keluar dari bagian atas *flash drum* mengandung hidrogen dan uap air pada suhu 90°C dan tekanan 1 atm. Aliran



tersebut selanjutnya dialirkan menuju kondensor parsial untuk mengkondensasikan uap air, sedangkan hidrogen tetap dipertahankan dalam fase gas pada 35°C dan 1 atm. Campuran keluaran kondensor kemudian dialirkan menuju knock out drum untuk memisahkan kondensat air dari gas hidrogen. Kondensat yang terbentuk dipisahkan sebagai fase cair, sementara gas hidrogen keluar dari bagian atas *knock out drum* dan dialirkan menuju kompresor untuk meningkatkan tekanannya. Hidrogen yang telah dikompresi kemudian direcycle menuju titik pencampuran dengan umpan hidrogen segar sebelum memasuki reaktor, sehingga hidrogen yang tidak bereaksi dapat digunakan kembali dalam proses.

b. Tahap Proses Dekolorasi

Larutan sorbitol yang keluar dari bagian bawah *flash drum* selanjutnya dialirkan menuju tahap dekolorisasi. lalu proses penghilangan warna pada produk dilakukan menggunakan karbon aktif dalam *bleaching tank* pada suhu 90°C dan tekanan 1 atm.. Tujuannya adalah untuk memperoleh produk akhir yang lebih jernih dan tidak berwarna. Selama proses ini, pengadukan diterapkan guna mengoptimalkan kontak antara karbon aktif dan larutan,

c. Tahap Filtrasi

Setelah proses dekolorasi selesai, karbon aktif yang tersuspensi dalam larutan dipisahkan menggunakan *rotary drum vacuum filter* dan dilakukan secara kontinu, sehingga diperoleh filtrat bebas dari partikel padat.

d. Tahap Pemekatan Akhir Produk

Larutan sorbitol kemudian dikonsentrasikan hingga mencapai kadar 70% menggunakan evaporator vakum. Penggunaan tekanan rendah dimaksudkan untuk mencegah degradasi termal produk. Produk yang keluar dari evaporator selanjutnya dialirkan ke tangki penyimpanan,



yang sebelumnya telah didinginkan melalui unit *cooler* untuk menjaga kestabilan mutu produk.

II.3.4 Tahap Penyimpanan Produk

Produk sorbitol yang dihasilkan disimpan dalam tangki khusus penyimpanan sorbitol dalam bentuk fase cair.

(Chao et al., 1982"US Patent)