



PRARANCANGAN PABRIK SORBITOL DARI GLUKOSA MELALUI PROSES HIDROGENASI KATALITIK KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN

Sharah Sa'diah*

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jalan Ahmad Yani KM 35, Kampus Unlam Banjarbaru, Kalimantan Selatan

*Corresponding Author: sharahsadiyah29@gmail.com

Abstrak

Sorbitol merupakan golongan alkohol polyhidrat dengan rumus kimia $C_6H_8(OH)_6$ memiliki struktur mirip glukosa dimana gugus aldehyd diganti menjadi gugus alkohol. Senyawa ini dapat digunakan dalam pembuatan pemanis yang aman untuk penderita diabetes, sebagai bahan baku pasta gigi dan juga kosmetik. Pada prarancangan pabrik sorbitol dari glukosa dan hidrogen ini, digunakan proses hidrogenasi katalitik dengan langsung mereaksikan glukosa dengan hidrogen.

Prarancangan pabrik ini direncanakan didirikan pada tahun 2020 dengan kapasitas 10.000 ton/tahun. Proses pembuatan sorbitol ini dilakukan melalui proses hidrogenasi katalitik dengan katalis nikel yang berlangsung pada reactor gelembung pada kondisi operasi $135^\circ C$ dan berlangsung secara eksotermis dengan konversi 97% pada tekanan 100 atm. Kemudian proses dilanjutkan menggunakan centrifuge untuk memisahkan nikel dari larutan. Filtrate yang dihasilkan, diumpungkan ke dalam evaporator untuk mengurangi kadar air sehingga menghasilkan produk sorbitol dengan kemurnian 85%. Pabrik sorbitol ini beroperasi 330 hari kerja selama 1 tahun. Lokasi rencana didirikan pabrik yaitu didaerah Kaliwungu-Kendal, Semarang dengan luas area 4.107.500 m^2 . Jumlah karyawan yang diperlukan sebanyak 105 orang dan memiliki bentuk perusahaan Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi garis dan staff. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, didapatkan Profit in Sales (POS) sebelum pajak 15% dan setelah pajak 10%, Return on Investment (ROI) sebelum pajak 17,33% dan setelah pajak 11,27%, Pay Out Time (POT) sebelum pajak 3,95 tahun dan setelah pajak 5,19 tahun, Interest Rate of Return (IRR) sebesar 11,16%, Break Event Point (BEP) sebesar 50% dan Shut Down Point (SDP) sebesar 25,64% sehingga dapat disimpulkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan.

Keywords: Sorbitol, Glukosa, Hidrogenasi Katalitik, Hidrogen.

1. Pendahuluan

Umumnya gula telah menjadi salah satu kebutuhan pokok masyarakat dunia. Tingginya kebutuhan gula dunia berdampak pada terciptanya bahan-bahan pemanis lain, salah satunya adalah sorbitol. Sorbitol banyak digunakan sebagai bahan pemanis, bahan baku pasta gigi, kosmetik, aplikasi medis, makanan dan kesehatan.

Sorbitol ($C_6H_8(OH)_6$) merupakan golongan alkohol polyhidrat yang memiliki struktur molekul mirip dengan glukosa, dimana gugus aldehyd pada glukosa diganti dengan gugus alkohol. Secara komersial, sorbitol hasil proses dari glukosa yang dihidrogenasi tekanan tinggi atau reduksi elektrolit melalui reaksi kimia. Proses pembentukan sorbitol dari glukosa merupakan reaksi adisi dua unsur hidrogen terhadap aldosa (glukosa) dimana terjadi pemutusan ikatan rangkap C dan O terhadap gugus fungsional aldehyd.

Pertumbuhan ekonomi di kawasan Asia semakin meningkat seiring dengan konsumsi masyarakat Asia yang semakin tinggi. Masyarakat tetap mengonsumsi kebutuhan sehari-hari seperti vitamin C, sereal, pasta gigi, kosmetik dan sebagainya, dimana sorbitol merupakan bahan baku kebutuhan tersebut. Semakin tinggi tingkat konsumsi masyarakat akan kebutuhan sehari-hari tersebut, permintaan produk sorbitol dan turunan lainnya semakin besar.

Berbagai kegunaan dari sorbitol dapat dilihat pada tabel. (Wellyan, 2013) berikut :

Tabel 1. Kegunaan dari Sorbitol

Bidang	Kegunaan
Makanan /	- Pemberi rasa manis
Minuman	- Stabilisator Kelembaban
Farmasi	- Dietary dan pengganti sucrose pada Diabetiser
	- Membantu Metabolisme
	- Pembentuk sirup dan menjaga kerusakan gigi
	- Produksi Ascorbit Acid (vitamin C)
Pasta gigi	- Memperlambat terbantuknya Caries gigi
Kosmetik	- Stabilisator Kelembaban
	- Penyegar
	- Non toxic
Tembakau	- Penambah aroma dan rasa sejuk
	- Stabilisator Kelembaban
textile/semir	- Antistatic Agent (textile)
sepatu/ Kulit /	- Stabilisator emulsi
Kertas / Cat	- Bahan pelunak dan tahan panas
Khusus	- Tahan Panas
Lem / pernis /	(mempertahankan warna)
Polyeruthane/ Produk	- Bahan Pelunak
gelatinisasi	

2. Deskripsi Proses

a. Seleksi Proses

Seleksi proses merupakan pemilihan proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil maksimal dari segi produk maupun ekonomi. Beberapa hal yang perlu ditinjau dalam seleksi proses yaitu dari segi pembuatan produk, proses, kondisi operasi dan ekonomi. Dari segi pembuatan produk terdiri dari bahan baku, konversi, kualitas dan kuantitas produk. Dari segi proses terdiri dari reduksi elektrolitik dan hidrogenasi katalitik. Kondisi operasi ditinjau dari tekanan dan temperatur proses, sedangkan dari segi ekonomi meliputi investasi, analisa *Return of Investment* (ROI), *Break Even Point* (BEP) dan *Shut Down Point* (SDP)..

Proses reduksi elektrolitik menggunakan bahan baku starch menghasilkan konversi 85%. Dalam hal kualitas produk reduksi elektrolitik mempunyai bahan-bahan impuritis dari hasil reaksi samping lebih banyak dan kemurnian sorbitol lebih rendah. Kondisi operasi berada pada tekanan 125 atm dan temperatur 120-140°C. Sedangkan pada proses hidrogenasi katalitik menggunakan bahan baku starch menghasilkan konversi 95-99%. Dari segi bahan baku, bahan penunjang lebih sedikit, hasil reaksi samping kecil, kemurnian sorbitol tinggi. Kondisi operasi proses berada pada tekanan 75 atm dan temperatur 120-140°C.

Selain itu, proses hidrogenasi katalitik menggunakan bahan baku yang mudah didapat, seperti gas hidrogen dan katalis nikel. Harga bahan baku murah dan efektif, sehingga ROI tinggi, dan POT cepat. Sedangkan proses reduksi elektrolitik memerlukan elektroda yang sangat mahal, serta membutuhkan power yang besar untuk proses elektrolisis, akibatnya ROI rendah dan POT lambat.

Proses pembuatan sorbitol dipilih hidrogenasi katalitik dengan meninjau konversi reaksi lebih tinggi sehingga berdampak pada produksi yang lebih besar dengan menggunakan bahan baku larutan glukosa. Tahapan proses dan bahan penunjang yang digunakan lebih sedikit. Produk yang diperoleh memiliki kualitas tinggi dengan bahan – bahan impuritis kecil. Dari segi ekonomi, investasinya lebih kecil, dimana ROI tinggi dan POT cepat.

b. Proses Produksi Sorbitol

Produksi sorbitol dari glukosa melalui proses hidrogenasi katalitik dilakukan dalam 3 tahap:

- Tahap pencampuran glukosa
- Tahap hidrogenasi katalitik
- 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 reaktor sedangkan gas hidrogen masuk secara bubbling melalui bagian bawah reaktor. Hal ini dilakukan agar terjadi kontak maksimal.

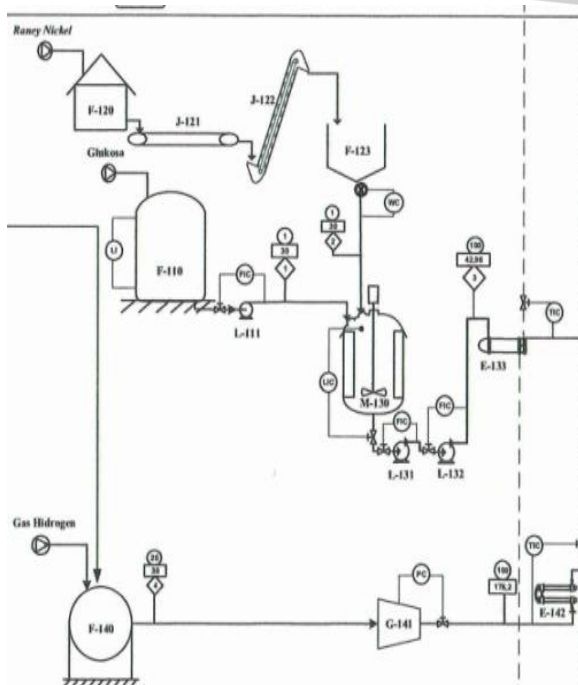
Secara keseluruhan *overall yield* yang dihasilkan 95-99%. Proses pembuatannya dapat dilihat pada gambar 1:

i. Tahap Pencampuran Glukosa

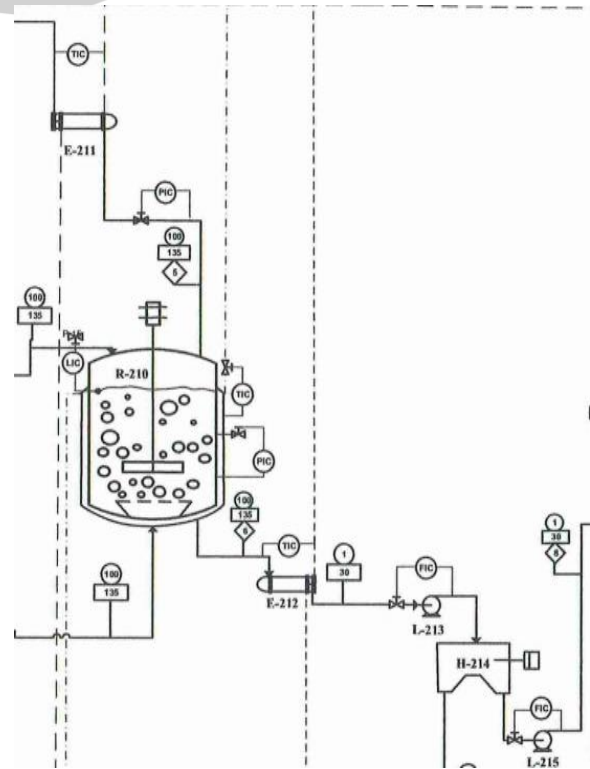
Pada unit ini, bahan baku glukosa ($C_6H_{12}O_6$) (F-110) dengan konsentrasi 50% dipompa menuju tangki pencampur (M-130) untuk dicampur dengan katalis raney nikel (Ni) (F-120) dengan konsentrasi 2% berdasarkan berat glukosa, agar terbentuk *slurry* glukosa-nikel. Kemudian *slurry* glukosa-nikel tersebut dipompa ke reaktor gelembung (R-210) melalui bagian atas reaktor yang sebelumnya dinaikkan suhunya menjadi 135°C oleh *heater* (E-112).

Gas hidrogen (H_2) dari tangki penyimpanan (F-140) dinaikkan tekanannya menjadi 100 atm menggunakan kompresor (G-141), karena suhu gas hidrogen setelah dinaikkan tekanannya menjadi 178°C maka gas hidrogen didinginkan menggunakan *cooler* 1 (E-142) hingga suhunya mencapai 135°C dan setelah itu diumpankan secara gelembung ke reaktor gelembung (R-210) melalui bagian bawah reaktor.





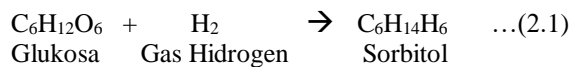
Gambar 1. Tahap Pencampuran Glukosa



Gambar 2. Tahap Hidrogenasi Katalitik

ii. Tahap Hidrogenasi Katalitik

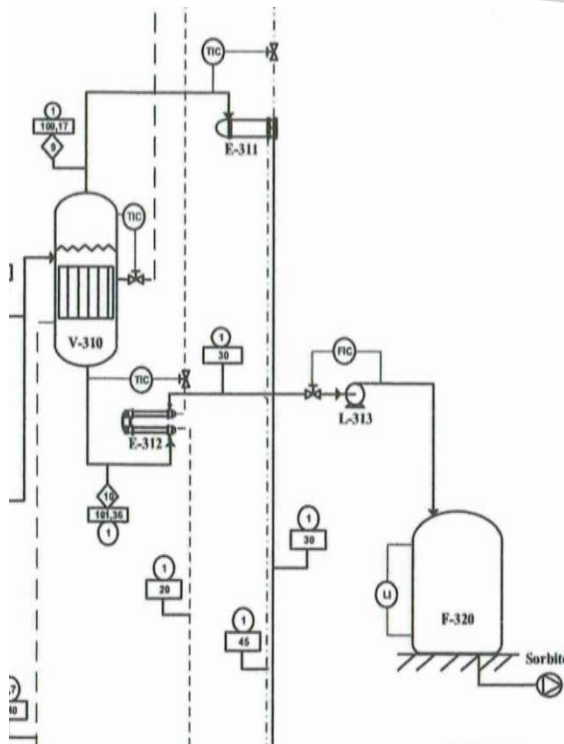
Di dalam reaktor gelembung (R-210), glukosa akan bereaksi dengan gas hidrogen dengan bantuan katalis raney nikel. Konversi reaksi pada proses ini sebesar 97% pada tekanan atmosferis. Reaksi berlangsung eksotermis, maka untuk menjaga agar suhu larutan 135°C digunakan pendingin berupa *coil*. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor adalah:



iii. Tahap Pemurnian Sorbitol

Keluaran reaktor gelembung (R-210) terbagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian atas dan bagian bawah. Keluaran bagian atas berupa gas hidrogen sisa yang didinginkan dengan cooler 2 (E-211) dan selanjutnya *directcycle* ke tangki hidrogen. Sedangkan keluaran bagian bawah berupa larutan sorbitol, glukosa, air, dan nikel yang didinginkan menggunakan cooler 3 (E-212) hingga suhu mencapai 30°C kemudian dialirkan ke *centrifuge* (H-214) untuk memisahkan katalis Ni dari larutan. *Cake* yang dihasilkan dibuang ke UPL, sedangkan *filtrate* diumpankan ke dalam evaporator (V-310) untuk menguapkan sebagian besar air dari larutan, sehingga diperoleh sorbitol dengan kemurnian 85%. Hasil atas evaporator (V-310) yang berupa air dan glukosa dibuang ke UPL yang sebelumnya dikondensatkan menggunakan kondensor (E-311). Sedangkan hasil bawah evaporator (V-310) didinginkan menggunakan cooler 4 (E-312) hingga suhu menjadi 30°C dan ditampung dalam tangki penampung produk sorbitol (F-320).





Gambar 3. Tahap Pemurnian Sorbitol

c. Neraca Massa dan Panas di Reaktor

Aliran massa masuk dan keluar reaktor dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi masuk dan keluar reaktor

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	3	4	5	6
$C_6H_{12}O_6$	1097,9874	-	-	32,94
Ni	21,9597	-	-	21,9597
H_2O	1097,9874	-	-	1097,9874
H_2	-	16,12	4,20	-
$C_6H_{14}O_6$	-	-	-	1076,97
Total	2217,9346	16,12	4,20	2229,85
	2234,05		2234,05	

Tabel 3. Kebutuhan Utilitas

No.	Penggunaan	Jumlah (kg/jam)
1	Steam	5.215,2410
2	Air Pendingin	47.978,7584
3	Air Sanitasi	1.756,3432
Total		54.950,3426

Tabel 4. Harga bahan baku dan produk

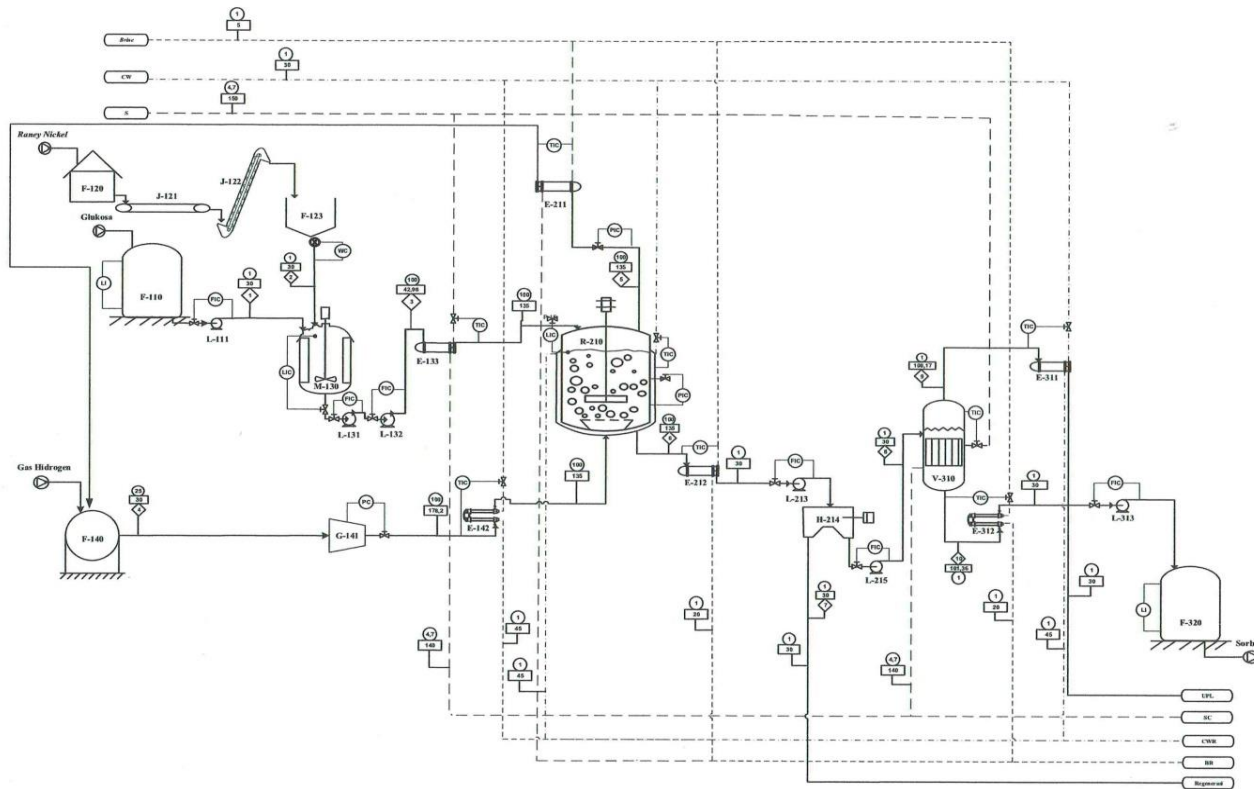
Keterangan	Bahan baku			Produk
	Glukosa	Nikel	Hidrogen	Sorbitol
Rumus Molekul	$C_6H_{12}O_6$	Ni-5124T	H_2	$C_6H_{14}O_6$
Berat Molekul (kg/kmol)	180,162	58,71	2,016	182,178
Neraca Masuk (kg/jam)	2195,97	21,96	16,12	2229,85
Neraca Keluar (kg/jam)	2195,97	21,96	16,12	1263,24
Harga (Rp)	2.300	12.500	51.800	51.800

Tabel 5. Harga peralatan pabrik

No.	Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga US \$
1	F-110	Tangki Glukosa	1	156.573,5
2	L-111	Pompa Glukosa	2	48.259,9
3	J-1	Belt Conveyor	1	46.768,7
4	J-122	Bucket Elevator	1	47.175,4
5	F-123	Hopper	1	378.081
6	M-13	Tangki Pencampur	1	164.301
7	L-131	Pompa Tangki Pencampur	4	45.548,7
8	E-132	Heater	1	98.282,1
9	F-140	Tangki Hidrogen	1	184.228
10	G-14	Compressor	1	61.002,7



PRARANCANGAN PABRIK SORBITOL DARI GLUKOSA MELALUI PROSES HIDROGENASI KATALITIK DENGAN KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN



KETERANGAN			
CW	Cooling Water	T	Tekanan (atm)
S	Steam	Tc	Temperature (°C)
CWB	Cooling Water Return	N	Nomor Aliran
CC	Steam Condensate	RM	Raw Material
W	Unit Pengalihan Limbah	P	Product
BW	Brine Water		
BR	Brine Return		
R	Regenerasi Katalis		
TIC	Temperature Indicator Control	WC	Weight Control
LI	Level Indicator	PIC	Pressure Indicator Control
LIC	Level Indicator Control	FIC	Flow Control

23	F-320	TANGKI PENYIMPANAN SORBITOL	1
22	L-313	POMPA EVAPORATOR	1
21	E-312	COOLER 2	1
20	E-311	CONDENSOR 1	1
19	V-310	EVAPORATOR	1
18	L-315	POMPA CENTRIFUGE	1
17	R-214	CENTRIFUGE	1
16	L-213	POMPA REAKTOR GELEMBUNG	1
15	E-212	COOLER 2	1
14	E-211	COOLER 1	1
13	R-210	REAKTOR GELEMBUNG	1
12	E-142	COOLER 1	1
11	G-141	KOMPRESOR	1
10	F-140	TANGKI PENYIMPAN GAS HIDROGEN	1
9	E-133	HEATER	1
8	L-331	POMPA TANGKI PENCAMPUR	4
7	M-130	TANGKI PENCAMPUR	1
6	F-125	HOPPER	1
5	J-122	BUCKET ELEVATOR	1
4	J-121	BULK CONVERTOR	1
3	F-120	GEDUNG RANEF NICKEL	1
2	L-111	POMPA TANGKI PENYIMPANAN GLUKOSA	1
1	F-110	TANGKI PENYIMPANAN GLUKOSA	1
NO	KODE	NAMA ALAT	JUMLAH

Dibuatkan Oleh :
SHARIFA YULIA (110111012)

Dosen Pembimbing :
Dr. Ina Syamsiah, M.T
NIP. 19690608 199702 2 002

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG MANGKURAT
BANJARABU
2017

Komponen	Neraca Massa (kg/jam)									
	Nomor Aliran									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C ₆ H ₁₂ O ₆	1097,9874	-	1097,9874	-	-	32,9297	0,0099	32,9297	-	32,9297
H ₂ O	1097,9874	-	1097,9874	-	-	1097,9874	0,3295	1097,6579	943,9858	153,6721
Ni	-	21,9597	21,9597	-	-	21,9597	21,9597	-	-	-
H ₂	-	-	-	16,12	4,2	-	-	-	-	-
C ₂ H ₄ O ₆	-	-	-	-	-	1076,97	0,3232	1076,97	-	1076,6424
TOTAL	2195,9748	21,9597	2217,9345	16,12	4,2	2229,8468	22,6223	2207,5576	943,9858	1263,2442

Gambar 4. Flowsheet Diagram Process

3. Analisis Ekonomi

Analisa ekonomi bertujuan untuk menganalisa dan melihat apakah pabrik sorbitol ini layak berdiri atau tidak. Dalam analisa ekonomi ini dihitung harga peralatan yang digunakan, harga bahan, harga jual produk utama ataupun produk samping berdasarkan dengan neraca massa dan energi, serta jumlah dan gaji tenaga kerja dan pengadaan lahan. Faktor-faktor yang ditinjau dalam analisa kelayakkan pabrik untuk dapat mendatangkan keuntungan, adalah :

- i. *Percent Profit on Sales* (POS)
- ii. *Percent Return on Investment* (ROI)
- iii. *Pay Out Time* (POT)
- iv. *Net Present Value* (NPV)
- v. *Interest Rate of Return* (IRR)
- vi. *Break Even Point* (BEP)
- vii. *Shut Down Point* (SDP)

Sebelum dilakukan analisa perlu dilakukan penafsiran terhadap beberapa hal sebagai berikut :

- a. Modal investasi / *Total Capital Investment* (TCI), yaitu banyaknya pengeluaran yang dibutuhkan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik dan untuk pengoperasiannya. Modal investasi ini terdiri dari
 - Modal investasi tetap/*fixed capital investment* (FCI)
 - Modal kerja/*Working Capital* (WC)
 - *Plant Start Up*
- b. Biaya produksi total / *Total Production Cost* (TC)

Biaya produksi total merupakan semua biaya yang digunakan selama pabrik beroperasi. Biaya produksi total meliputi :

 - *Manufacturing Cost* (MC) adalah biaya yang berhubungan dengan proses produksi dan peralatan proses yang terdiri dari:
 - a. *Direct Production Cost* (DPC)
 - b. *Fixed Charges* (FC)
 - c. *Plant Overhead Cost* (POC)
 - *General Expense*

Yaitu biaya-biaya umum yang meliputi biaya administrasi, biaya pemasaran dan distribusi, biaya penelitian dan pengembangan (*research and development*) serta pajak pendapatan.

Analisa Profitability

Dalam analisa ini digunakan beberapa asumsi, yaitu umur pabrik 10 tahun dengan kapasitas produksi masing-masing adalah :

1. Tahun pertama 85%,

2. Tahun kedua 95%,
3. Tahun ketiga sampai ke limabelas 100%,
4. Pajak pendapatan 35% dari laba kotor.
5. BEP dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$BEP = \frac{(Fa+0,3xRa)}{(Sa-Va-0,7xRa)} \times 100\%$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai BEP 50%.

6. Total modal investasi (TCI) Rp 975.002.672.073,-
7. Total biaya produksi (TPC) Rp 686.441.824.268,-
8. *Internal Rate of Return* sebesar 11,16 %
9. *Pay out time* selama 3,95 tahun

Hasil-hasil perhitungan analisa ekonomi lainnya dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 6. Analisis ekonomi

No	Keterangan	Jumlah
1	Biaya Tetap (Fa)	Rp.86.971.899.467,27,-
2	Biaya Variabel (VC)	
	Bahan Baku	Rp.173.070.403.083,-
	Utilitas	Rp. 90.694.366.000,-
	Packing	Rp. 63.486.056.200,-
	Royalti dan Patent	Rp. 9.069.436.600,-
	Total Biaya Variabel (Va)	Rp.336.320.261.884,-
3	Biaya Semi Variabel (Sa)	
	Tenaga Kerja	Rp. 5.525.300.000,-
	Pemeliharaan dan Perbaikan	Rp. 39.532.681.376,-
	Payroll <i>Overhead</i>	Rp. 1.105.060.000,-
	Laboratorium	Rp. 1.105.060.000,-
	<i>Plant Supplies</i>	Rp. 5.929.902.236,-
	<i>General Expense</i>	Rp.248.958.328.925,-
	<i>Plant Overheas Cost</i>	Rp. 1.326.072.000,-
	Total SVC	Rp.305.139.994.738,-
4	Total Penjualan	Rp.906.943.660.005,-

4. Kesimpulan

Prarancangan pabrik sorbitol dari glukosa menggunakan proses hidrogenasi katalitik dengan kapasitas 10.000 ton/tahun didirikan di daerah Kaliwungu-Kendal Semarang, Jawa Tengah. Pabrik direncanakan beroperasi 24 jam secara kontinyu selama 330 hari pertahun. Proses yang digunakan adalah proses hidrogenasi katalitik, dengan bahan baku larutan glukosa, gas hidrogen dan katalis raney nikel. Proses ini dilakukan dengan mereaksikan larutan glukosa dengan gas hidrogen bertekanan tinggi yang diumpankan secara bubbling memalui





bagian bawah reaktor. Sorbitol yang dihasilkan dalam prarancangan ini memiliki yield 85%.

Secara ekonomi, biaya investasi modal tetap (*fixed capital*) yang diperlukan untuk pendirian pabrik sorbitol sebesar Rp 790.653.631.521,- modal kerja (*working capital*) Rp 123.529.530.435,- investasi total Rp 975.002.672.073,- Biaya produksi per tahun Rp 478.976.550.163,- dan hasil penjualan per tahun Rp 906.943.660.005,-. Berdasarkan analisa ekonomi diperoleh *Break Even Point* (BEP) sebesar 50%. *Return of Investment* (ROI) sesudah pajak 11,27%, *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 5,19 tahun. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dari segi bahan baku, produk, proses dan ekonomis, pabrik ini layak untuk dikaji ulang.

Referensi

Chao et al., 1982. *United States Patent 4322569 Catalytic Hydrogenation of Glucose to Produce Sorbitol*

- Keyes, D. B., R. L. Clark and W. L. Faith. 1965. *Industrial Chemical*. New York: 3rd ed Wiley.
- Kirk and Othmer. 1960. *Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.
- Kirk and Othmer. 1964. *Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.
- Kirk and Othmer. 1997. *Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.
- Othmer K. 1998. *Encyclopedia Of Chemical Technology Fourth Edition*. New York: Encylopedia Inc.
- Timmerhaus, Klaus D and Max S.P. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons

