

Pra Desain Pabrik Sorbitol dari Pati Sagu dengan Proses Hidrogenasi Katalitik

Galang Dhaifullah Abdul Aziz¹, Umma Aulia Marwa¹, Arief Widjaja^{1*}

Abstrak— Industri sorbitol merupakan salah satu industri yang memiliki prospek masa depan yang baik. Hal ini disebabkan sorbitol banyak dimanfaatkan di berbagai industri, seperti industri pangan, farmasi, kosmetik, kimia serta bidang industri lainnya. Permintaan sorbitol meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan kesadaran masyarakat akan pentingnya memperhatikan nutrisi pada makanan dan minuman serta bahaya diabetes. Kebutuhan sorbitol nasional akan meningkat dengan sejalannya pertumbuhan penduduk serta meningkatnya perkembangan dan pembangunan ekonomi Indonesia. Sorbitol merupakan poliol dengan tingkat kemanisan 0,6 kali relatif lebih rendah dari sukrosa dan memiliki nilai kalori yang rendah, yaitu sebesar 2,6 kalori/gram sehingga merupakan jenis gula yang aman dikonsumsi oleh penderita diabetes, obesitas, dan kariogenesis pada gigi. Pembuatan sorbitol dari bahan baku pati melalui dua tahap proses utama yaitu proses perubahan *starch* dari bahan baku pati menjadi glukosa melalui hidrolisa enzim, dimana enzim yang digunakan yaitu α -amilase dan glukamilase. Tahap kedua yaitu proses perubahan glukosa menjadi sorbitol menggunakan proses hidrogenasi katalitik. Pabrik sorbitol ini direncanakan akan didirikan di Kawasan Industri Pelintung, Pelintung, Medang Kampai, Kota Dumai, Riau, Indonesia. Investasi pembangunan pabrik ini terbagi dari modal sendiri dengan laju inflasi 1,55% per tahun sebesar Rp125.781.902.612,00 dan modal pinjaman dengan suku bunga 8,00% per tahun sebesar Rp322.121.197.711,00. Total biaya produksi sorbitol sebesar Rp397.372.970.430,00 per tahun. Hasil penjualan sorbitol 70% sebesar Rp328.824.427.916,00. *Internal rate of return* dari pabrik ini adalah 14,74% dengan *payout time* 5,22 tahun dan *break event point* sebesar 16,10%. Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinu 24 jam selama 330 hari pertahun operasi dengan rencana kapasitas produksi sebesar 83 ton/hari dengan jumlah foreman proses dan produksi sebanyak 42 orang/hari. Ditinjau dari aspek teknis dan ekonomi pabrik sorbitol ini layak untuk didirikan.

Kata Kunci— Hidrogenasi Katalitik, Pati Sagu, Sorbitol

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk berdampak pada meningkatnya kebutuhan pangan di Indonesia, salah satunya adalah kebutuhan gula yang telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat yang cukup strategis. Permintaan gula secara nasional akan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, pendapatan masyarakat, dan pertumbuhan industri pengolahan makanan dan minuman. Sorbitol yang dikenal juga sebagai D-glusitol, adalah suatu gula alkohol yang dimetabolisme lambat oleh tubuh. Sorbitol diperoleh dari reduksi glukosa, mengubah gugus aldehyd menjadi gugus hidroksil, sehingga dinamakan gula alkohol [1]. Sorbitol yang memiliki rumus molekul $C_6H_{14}O_6$ merupakan poliol alami paling umum digunakan dengan tingkat kemanisan 0,6 kali relatif lebih rendah dari sukrosa dan memiliki nilai kalori yang rendah, yaitu sebesar 2,6 kalori/gram sehingga merupakan jenis gula yang aman dikonsumsi oleh penderita diabetes.

Segmentasi sorbitol dibagi berdasarkan tipe, aplikasi, dan regional. Berdasarkan tipenya, sorbitol cair menguasai 70% kebutuhan sorbitol dunia, sedangkan sorbitol bubuk menguasai 30% kebutuhan sorbitol dunia. Berdasarkan aplikasinya, *food and beverages* serta *personal care & cosmetics* mendominasi lebih dari 50% pasar sorbitol global. Pada tahun 1975, produsen utama sorbitol di Indonesia adalah Roquette Freres, Prancis. Kemudian pada tahun 1983, PT. Sorini Corporation (sekarang PT. Sorini Argo Asia Corporindo) didirikan di Surabaya, Jawa Timur. PT. Sorini Argo Asia Corporindo

mulai memproduksi sorbitol secara komersil pada tahun 1987. PT. Sorini Argo Asia Corporindo merupakan produsen sorbitol terbesar di Asia Pasifik dan terbesar kedua di dunia setelah Roquette Freres, Prancis.

Proses produksi sorbitol dari bahan baku pati sagu ini melalui dua tahap proses utama [2], yaitu

1. Proses hidrolisis pati (*starch*) menjadi glukosa, berikut merupakan macam jenis proses hidrolisis pati:
 - Hidrolisis pati menggunakan katalis asam
 - Hidrolisis pati menggunakan katalis enzim
 - Hidrolisis pati menggunakan katalis asam-enzim
2. Proses perubahan glukosa menjadi sorbitol, berikut macam jenis, terdapat tiga macam jenis proses, yaitu
 - Proses reduksi elektrolitik
 - Proses hidrogenasi katalitik
 - Proses bioteknologi

Berdasarkan perbandingan proses yang tercantum pada Tabel 1 dan Tabel 2, digunakan proses hidrolisis enzimatis dan hidrogenasi katalitik pada pabrik sorbitol ini.

¹ Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia. *Email: arief_w@chem-eng.its.ac.id

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Kapasitas Produksi

Berdasarkan data dari badan pusat statistik (BPS), pada tahun 2024, Indonesia diperkirakan membutuhkan impor sorbitol mencapai 15 kiloton pertahun. Untuk memenuhi kebutuhan impor sorbitol Indonesia, pabrik ini ditujukan untuk dapat memenuhi dua kali kebutuhan impor sorbitol di Indonesia pada tahun 2024, sehingga kapasitas pabrik yang akan didirikan adalah 30 kiloton per tahun dengan basis perhitungan 24 jam operasi dan waktu operasi selama 330 hari per tahun.

TABEL 1.
PERBANDINGAN PROSES HIDROLISIS PATI

Parameter	Proses Hidrolisis		
	Asam	Enzim	Asam-Enzim
Aspek Teknis			
Tekanan (kgf/cm ²)	3	1	1 – 3
Suhu (°C)	140 – 160	60 – 105	60 – 140
pH	2,3	4,5 – 6	1,8 – 2
Dextrose Equivalent	30 – 55%	90 – 95%	63 – 80%
Reaksi Samping	✓	-	✓
Daya Korosi	Tinggi	Rendah	Tinggi
Aspek Ekonomis			
Kebutuhan Asam	Banyak	Sedikit	Banyak
Biaya Peralatan	Mahal	Murah	Mahal
Energi	Besar	Kecil	Sedang
Investasi	Tinggi	Sedang	Tinggi
Aspek Lingkungan			
Polutan	Asam	-	Asam

TABEL 2.
PERBANDINGAN PROSES PRODUKSI SORBITOL

Parameter	Proses Produksi Sorbitol		
	Reduksi Elektrolitik	Hidrogenasi Katalitik	Bioteknologi
Aspek Teknis			
Tekanan (kgf/cm ²)	125	70	20 – 30
Suhu (°C)	120 – 140	120 – 150	39 – 40
pH	7 - 11	6	3,5 – 7,5
Yield Sorbitol	70 – 85%	95 – 99%	94 – 98%
Kualitas Produk	Rendah	Tinggi	Rendah
Waktu Proses	±5 jam	±3 jam	±7 jam
Reaksi Samping	Banyak	Sedikit	Sedang
	(fruktosa, manosa, dan mannitol)	(maltitol)	(asam glukonat dan etanol)
Aspek Ekonomis			
Biaya Kebutuhan	Mahal	Murah	Mahal

B. Lokasi Pabrik

Lokasi geografis pabrik secara kuat mempengaruhi keberhasilan suatu industri karena berpengaruh terhadap faktor produksi dan distribusi produk. Faktor-faktor tersebut meliputi ketersediaan bahan baku, pasar, ketersediaan energi, iklim fasilitas transportasi, ketersediaan utilitas, pembuangan limbah, ketersediaan tenaga kerja, perpajakan dan hukum yang berlaku, karakteristik lokasi, perlindungan terhadap bencana alam, dan komunitas sekitar [3]. Dengan menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP) didapatkan lokasi pendirian pabrik sorbitol berada di Kawasan Industri Pelintung, Pelintung, Medang Kampai, Kota Dumai, Riau, Indonesia. Berikut tabel pembobotan lokasi dengan menggunakan metode AHP.

TABEL 3.
ANALISIS HIERARKI PROSES PEMILIHAN LOKASI PABRIK

Parameter		Nilai	
		Duma i	Teluk Binta ni
Bahan Baku	Bahan baku yang tersedia	0,345	0,655
	Jarak bahan baku dengan pabrik	0,469	0,531
Lokasi	Potensi pasar	0,810	0,190
Pemasaran	Jarak pasar dengan pabrik	0,750	0,250
Kompetitor	Kapasitas produksi kompetitor	0,535	0,465
	Jarak lokasi kompetitor dengan pabrik	0,667	0,333
Aksesabilitas dan Transportasi	Fasilitas jalan tol dan jarak gerbang tol terdekat dengan pabrik	0,667	0,333
	Fasilitas pelabuhan dan jarak pelabuhan	0,576	0,424
	Fasilitas stasiun kereta dan jarak stasiun kereta dengan pabrik	0,655	0,345
	Fasilitas bandara dan jarak bandara dengan pabrik	0,750	0,250
Iklim dan Topografi	Kondisi tanah dan resiko terjadi bencana	0,612	0,388
	Iklim	0,578	0,422
Lingkungan	Jumlah industri yang mengotori laut	0,600	0,400
Tenaga Kerja	Angkatan kerja	0,587	0,413
	Upah minimum provinsi	0,667	0,333
Total		0,591	0,409

*Inconsistency ratio = 0,1

C. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

Pada pabrik ini bahan baku utama dalam pembuatan sorbitol adalah pati sagu. Pati sagu yang digunakan ialah pati sagu sangko yang berasal dari Kepulauan Merantai, Riau. Berikut merupakan spesifikasi pati sagu yang digunakan.

TABEL 4.
SPESIFIKASI PATI SAGU

Komponen	Komposisi
Air	8,63 %
Abu	0,56 %
Lemak	0,26 %
Protein	0,12 %
Serat kasar	0,02 %
Karbohidrat	90,41 %

TABEL 5.
STANDAR SPESIFIKASI PATI SAGU

Spesifikasi	Standar
Bentuk	Serbuk halus
Warna	Putih khas sagu
Benda asing	Tidak ada
Jenis pati lain	Tidak ada
Kadar air, % (b/b)	13,00 Maks.
Kadar pati	65,00 Min.
Derajat asam	4,00 Maks.
Timbal	1,00 Maks.
Raksa	0,05 Maks.
Angka lempeng total	10 ⁶ ,00 Maks.
Kapang	10 ⁴ ,00 Maks.

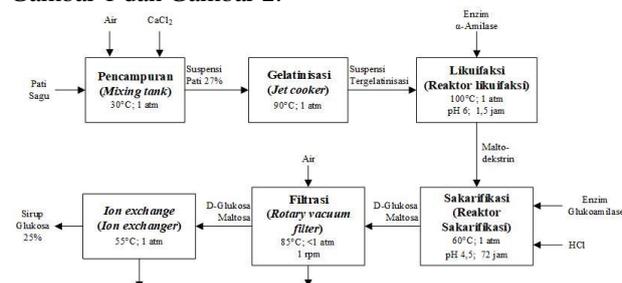
Produk yang dihasilkan dengan proses hidrogenasi katalitik adalah sorbitol dengan *grade* sirup *noncrystallizing* dengan konsentrasi 70%. Produk sorbitol sirup *noncrystallizing* dihasilkan oleh proses hidrolisis dekstrosa 50%, sedangkan sorbitol kristal terbentuk dari proses hidrolisis larutan dekstrosa dengan kemurnian 97 – 100%. Produk sorbitol sirup *noncrystallizing* rata-rata mengandung konten padatan sebesar 69% (minimal) dan sorbitol 50% (minimal) berdasarkan berat kering [1]. Spesifikasi produk yang dihasilkan oleh pabrik ini akan mengacu kepada Standar Nasional Indonesia mengenai spesifikasi sorbitol. Pada Tabel 6 merupakan spesifikasi produk yang dihasilkan.

TABEL 6.
SPESIFIKASI SORBITOL CAIR

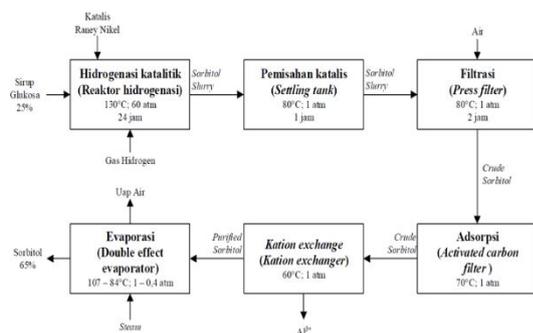
Variabel	Standar
Penampilan	Tidak berwarna/pucat dan tidak berbau
Zat Kering	69 – 71 %
D-Sorbitol	70 % (minimal)
Berat Jenis	1,285 – 1,315 g/ml
pH	5,0 – 7,5
Gula Pereduksi	0,15 % (maksimal)
Total Gula	4,0 – 8,0 % (maksimal)
Klorida	50 mg/kg (maksimal)
Sulfat	100 mg/kg (maksimal)
Tembaga	10 mg/kg (maksimal)
Arsen	1 mg/kg (maksimal)
Timbal	0,5 mg/kg (maksimal)
Nikel	1 mg/kg (maksimal)

III. URAIAN PROSES TERPILIH

Terdapat dua unit proses utama yang terjadi pada pabrik ini, yaitu proses hidrolisis pati sagu dengan katalis enzim dan proses produksi sorbitol dengan hidrogenasi katalitik. Blok diagram dari proses hidrolisis pati sagu dengan katalis enzim dan proses produksi sorbitol dengan hidrogenasi katalitik masing-masing ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Blok Diagram Unit Proses Hidrolisis Pati Sagu dengan Katalis Enzim



Gambar 2. Blok Diagram Unit Proses Produksi Sorbitol dengan Hidrogenasi Katalitik

Berikut ini merupakan uraian masing-masing unit proses utama pembuatan sorbitol dari pati sagu dengan proses hidrogenasi katalitik.

A. Proses Hidrolisis Pati Sagu Menjadi Glukosa

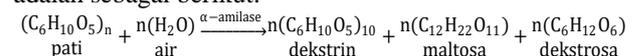
Proses hidrolisis pati sagu menjadi glukosa merupakan langkah awal dalam pembuatan sorbitol, di mana pati (polisakarida) dipecah menjadi monomer-monomernya (monosakarida) dalam bentuk sirup glukosa (dekstrosa).

1. Proses Gelatinisasi

Dekstrin terbentuk melalui dua proses utama (1) proses gelatinisasi dan (2) proses likuifaksi. Gelatinisasi adalah proses pemecahan ikatan molekuler dari molekul pati dengan menggunakan air dan panas. Penetrasi air meningkatkan sistem acak pada struktur umum serta menurunkan jumlah dan ukuran kristal dari granula pati [4]. Gelatinisasi dimulai dengan memindahkan pati sagu dengan kadar air 8,63% dari *storage tank* menuju *mixing tank* menggunakan *screw conveyor*. Di dalam *mixing tank*, pati sagu dicampur dengan air dan larutan CaCl_2 150 ppm hingga menghasilkan suspensi pati sagu dengan konsentrasi 27%. *Mixing tank* dilengkapi dengan *sawtooth paddle agitator* yang umumnya digunakan untuk pencampuran bubuk. Waktu pencampuran diperkirakan berlangsung selama 15 menit dengan kondisi operasi 1 atm dan temperatur 30°C. Suspensi pati dialirkan menuju *jet cooker* menggunakan bantuan *centrifugal pump*. *Jet cooker* yang diinjeksi *steam* jenuh digunakan untuk menaikkan temperatur suspensi pati hingga 90°C [5]. Aliran suspensi pati keluar dari *jet cooker* menuju reaktor *liquefaction* pada temperatur 100°C.

2. Proses Likuifaksi

Likuifaksi adalah proses pati yang telah tergelatinisasi akan terhidrolisis menjadi maltodekstrin. Proses likuifaksi dimulai dengan memasukkan suspensi pati yang telah tergelatinisasi ke dalam reaktor *liquefaction* untuk dicairkan dan dihidrolisis. Setelah itu, enzim α -amilase TII-12 dimasukkan ke dalam reaktor sebagai katalis reaksi dekstrinasi melalui pipa yang dilengkapi dengan *inflatable seated butterfly valve*. Proses likuifaksi dilaksanakan pada temperatur 100°C, tekanan 1 atm, dan pH 6 selama $\pm 1 - 2$ jam untuk proses hidrolisis parsial suspensi pati dengan reaksi dekstrinasi menghasilkan maltodekstrin. Reaksi dekstrinasi berlangsung dalam fasa cair, bersifat *irreversible*, dan endotermis [6]. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

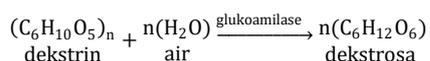
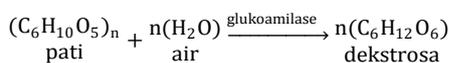
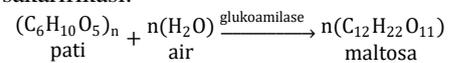


Setelah keluar dari reaktor *liquefaction*, maltodekstrin dialirkan menuju tangki penampung yang dilengkapi dengan *coil* pendingin dan akan memasuki proses sakarifikasi.

3. Proses Sakarifikasi

Proses sakarifikasi merupakan proses hidrolisis lanjutan dari suspensi pati cair. Sakarifikasi bertujuan untuk memutuskan ikatan α -1,4 maupun α -1,6 pada suspensi pati cair maupun maltodekstrin menggunakan enzim glukosamilase. Sehingga suspensi pati cair dan maltodekstrin dapat dikonversi menjadi larutan dekstrosa yang kemudian disebut sirup glukosa. Proses sakarifikasi

dimulai dengan mengalirkan suspensi pati cair dan maltodekstrin ke dalam reaktor sakarifikasi. Di dalam reaktor sakarifikasi ditambahkan enzim glukoamilase dan larutan HCl 0,1 M dari masing-masing tanki penampung. Enzim glukoamilase dimasukkan ke dalam reaktor melalui pipa yang dilengkapi dengan *inflatable seated butterfly valve*. Proses sakarifikasi dilaksanakan selama ± 72 jam pada temperatur 60°C , tekanan 1 atm, dan pH 4,5. Reaktor sakarifikasi dilengkapi pengaduk dan coil pendingin karena reaksinya berlangsung secara eksotermis [7]. Berikut reaksi-reaksi yang terjadi di dalam reaktor sakarifikasi.

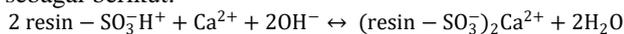


Setelah keluar dari reaktor sakarifikasi, sirup glukosa ditampung pada tangki penampung sebelum dilakukan proses pemurnian untuk meningkatkan konsentrasi glukosa.

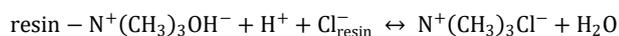
4. Proses Pemurnian Sirup Glukosa

Sirup glukosa yang dihasilkan kemudian dialirkan menuju tangki penampung *rotary drum vacuum filter* guna menghilangkan *impurities* berupa zat padat di dalam sirup glukosa (sisa pati dan enzim). Proses ini berlangsung optimum pada temperatur *feed* sebesar $50 - 90^\circ\text{C}$ dengan tekanan di dalam medium filter adalah vakum (< 1 atm) dan kecepatan putaran drum $0,25 - 4$ rpm [8].

Setelah *impurities* yang berupa padatan telah dihilangkan, sirup glukosa dialirkan menuju proses *ion exchange* menggunakan tangki *kation exchanger* dan tanki *anion exchanger*. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan ion-ion yang terkandung di dalam sirup glukosa, seperti ion Ca^{2+} dari CaCl_2 dan ion Cl^- dari HCl. Tangki-tangki tersebut berisi resin teraktivasi yang dapat menukarkan ion positif terlarut dengan H^+ dan ion negatif terlarut dengan OH^- . Resin penukar ion positif yang digunakan adalah *resin strong acid cation*, seperti *sulfonated phenol formaldehyde* dan resin penukar ion negatif yang digunakan adalah *resin strong base anion*, seperti *Amberlite IRA900 Cl*. Proses ini dapat berlangsung pada temperatur $10 - 55^\circ\text{C}$ dan tekanan atmosferik. Reaksi yang terjadi di dalam tangki *kation exchanger* adalah sebagai berikut.



Sedangkan untuk tangki *anion exchanger* adalah sebagai berikut.



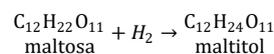
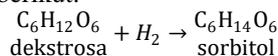
B. Proses Produksi Sorbitol

Proses produksi sorbitol ini merupakan proses pembentukan senyawa sorbitol dengan mereaksikan sirup glukosa dari hasil dari proses sebelumnya dengan gas hidrogen menggunakan katalis Raney Nikel dan dilanjutkan dengan pemurnian sorbitol. Lisensor untuk proses ini diperoleh dari *Air Liquide Engineering and*

Construction. Teknologi dari lisensor ini mencakup proses hidrogenasi katalitik, *pressure filter*, *ion exchange*, dan evaporasi.

1. Proses Hidrogenasi Katalitik

Sirup glukosa yang telah melewati tahap pemurnian dialirkan menuju reaktor hidrogenasi. Tahap ini merupakan tahap yang menentukan dalam pembentukan sorbitol, yang mana pada reaktor ini terjadi reaksi antara sirup glukosa dan gas hidrogen dengan katalis Raney Nikel guna menghasilkan sorbitol sebagai produk akhir pabrik ini. Reaktor hidrogenasi dilengkapi dengan pengaduk dan coil pemanas untuk meningkatkan temperatur reaksi mencapai 130°C guna menjaga katalis agar tidak ikut bereaksi. Dikarenakan reaksi hidrogenasi membutuhkan tekanan tinggi, gas hidrogen yang akan memasuki reaktor hidrogenasi sebelumnya akan dikompresi terlebih dahulu dengan kompresor hingga mencapai tekanan 60 atm dan akan bereaksi dengan sirup glukosa yang dibantu dengan katalis Raney Nikel sebanyak 2% dari massa sirup glukosa yang masuk selama 24 jam. Reaksi yang terjadi pada reaktor hidrogenasi adalah sebagai berikut.



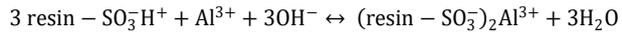
Sorbitol yang terbentuk pada reaktor hidrogenasi mengalir menuju tangki penampung melalui pipa yang dilengkapi dengan *throttling valve*. Tangki penampung sorbitol dilengkapi dengan *coil* pendingin untuk menurunkan temperatur hingga mencapai 80°C . Temperatur sorbitol perlu dijaga di bawah 100°C , sebab temperatur $> 100^\circ\text{C}$ merupakan titik nyala sorbitol. Selain itu, sorbitol akan membentuk campuran yang dapat meledak dengan udara pada pemanasan terus-menerus [9]. Lalu, sorbitol mengalir menuju *settling tank* untuk memisahkan dan reaktivasi katalis agar dapat digunakan kembali.

2. Proses Pemurnian Sorbitol

Pemurnian ini bertujuan untuk menghilangkan *impurities* yang terkandung di dalam sorbitol. Proses pemurnian sorbitol dilaksanakan dalam tiga tahapan. Tahap pertama yaitu proses filtrasi menggunakan *press filter*. Proses ini dilakukan untuk memisahkan sisa padatan katalis Raney Nikel dan sisa padatan lain yang masih terkandung di dalam larutan sorbitol. *Cake* yang terbentuk dari hasil penyaringan akan dicuci terlebih dahulu menggunakan air dari utilitas *water process* lalu dialirkan menuju saluran pembuangan untuk diolah lebih lanjut. Adapun filtrat berupa campuran sorbitol dan maltitol dialirkan menuju tangki penampung sebelum dialirkan menuju tangki *carbon filter*.

Tahap kedua, yaitu adsorpsi oleh karbon aktif pada tangki *carbon filter* guna menyerap warna yang ditimbulkan dari proses sebelumnya sehingga diperoleh sorbitol yang lebih jernih. Karbon aktif yang telah jenuh perlu dilakukan *backwashing* untuk menghilangkan partikel-partikel yang telah menempel pada karbon aktif karena proses adsorpsi. Larutan sorbitol yang keluar dari tangki *carbon filter* langsung dialirkan menuju tangki *kation exchanger*.

Tahap tiga, yaitu proses *kation exchange* pada tangki *kation exchanger*. Proses ini berfungsi untuk menghilangkan sisa ion Al^{3+} dari Al_2O_3 yang masih terkandung di dalam larutan sorbitol. Berikut reaksinya.



Resin yang digunakan pada proses *kation exchanger* adalah *resin strong acid cation*, seperti *sulfonated phenol formaldehyde* dan dilakukan regenerasi melalui *backwashing* resin yang telah jenuh. Larutan sorbitol yang keluar dari tangki *kation exchanger* akan dialirkan menuju proses pemekatan menggunakan evaporator.

3. Proses Pemekatan Sorbitol

Proses pemekatan dilakukan menggunakan *double effect evaporator* bertipe *vertical tube evaporator* dengan tujuan mengurangi kadar air yang terkandung pada larutan sorbitol dengan cara menguapkan air hingga konsentrasi sorbitol mencapai 60 – 70%. *First stage evaporator* beroperasi pada temperatur 104°C dan tekanan 1 atm dengan bantuan pemanas berupa HPS (*High Pressure Steam*). Dilanjutkan dengan *second stage evaporator* yang beroperasi pada 77°C dan tekanan $\pm 0,4$ atm dengan pemanas berupa uap panas dari *first stage evaporator* [10].

Uap panas yang keluar dari *second stage evaporator* dialirkan menuju *indirect barometric condenser*. Namun, karena tidak semua uap dapat terkondensasi menjadi *liquid* dengan cepat sehingga diperlukan *steam jet ejector* sebagai penghisap uap *non-condensable* agar tidak terjadi terjadi penumpukan uap di *indirect barometric condenser*. Sedangkan larutan sorbitol yang keluar dari *second stage evaporator* dialirkan menuju *storage* untuk kemudian dikemas dan didistribusikan ke *customer*.

IV. ANALISA EKONOMI

Analisis ekonomi digunakan untuk menentukan apakah suatu pabrik yang direncanakan layak didirikan atau tidak, untuk itu diperlukan evaluasi atau penilaian investasi. Faktor-faktor yang perlu ditinjau untuk memutuskan hal ini adalah:

1. Kekayaan yang dihasilkan (*Net Present Value, NPV*)
2. Laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return, IRR*)
3. Waku pengembalian modal minimal (*Minimum Pay Out Time, POT*)
4. Titik impas (*Break Event Point, BEP*)

Analisis ekonomi dilakukan dengan metode *Discounted Cash Flow*, yaitu *cash flow* yang nilainya diproyeksikan pada masa sekarang dengan beberapa asumsi.

A. Net Present Value (NPV)

Net present value merupakan jumlah pendapatan yang telah diproyeksikan pada masa yang akan datang dari setiap arus kas pada setiap tahunnya. NPV berupa arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang telah didiskonkan pada saat ini. Pabrik sorbitol ini memiliki NPV sebesar Rp 447.903.100.324,00 pada jangka waktu 10 tahun operasi.

B. Internal Rate of Return (IRR)

Internal rate of return (IRR) adalah kriteria evaluasi proyek dengan maksud mencari tingkat diskonto, yang mana akan menghasilkan NPV = 0. IRR berbentuk seperti bunga tertentu dalam menutup seluruh jumlah pengeluaran modal. Perhitungan IRR dapat dilakukan dengan *men-trial* nilai *i*, laju bunga.

Pabrik sorbitol ini mempunyai nilai laju bunga sebesar 14,74% per tahun. Nilai tersebut lebih besar dari bunga pinjaman, yaitu 8,00% pertahun, sehingga pabrik sorbitol dari pati sugu dengan proses hidrogenasi katalitik layak untuk didirikan.

C. Pay out Time (POT)

Payout time (POT) atau waktu pengembalian modal digunakan untuk menunjukkan jumlah periode dalam bentuk tahun yang diperlukan untuk mengembalikan biaya investasi awal aset dengan tingkat pengembalian tertentu. Nilai POT dapat didasarkan oleh akumulasi aliran kas pada setiap tahunnya.

Pabrik sorbitol ini memiliki waktu pengembalian modal selama 5,22 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan, karena POT yang didapatkan lebih kecil dari perkiraan usia pabrik

D. Break Even Point (BEP)

Analisis titik impas merupakan titik ketika hasil pendapatan nilainya sama dengan modal awal yang dikeluarkan, sehingga tidak terjadi keuntungan ataupun kerugian. Hal ini ditujukan untuk mengetahui persentase jumlah kapasitas produksi, Berikut merupakan daftar pengeluaran dan pendapatan pabrik ini.

TABEL 7.
BIAYA FC, VC, SVC, DAN S

No.	Keterangan		Total Harga
1.	Biaya Tetap (FC)	Rp	37.364.485.693,00
2.	Biaya Variabel (VC)		
-	Bahan baku	Rp	210.540.000.000,00
-	Utilitas	Rp	32.882.442.792,00
-	Pengemasan	Rp	11.006.635.173,00
-	Royalties	Rp	1.644.122.140,00
	Total Biaya Variabel (VC)	Rp	254.429.077.965,00
3.	Biaya Semi Variabel (SVC)		
-	Tenaga kerja	Rp	2.520.000.000,00
-	Pemeliharaan dan perbaikan	Rp	6.555.172.929,00
-	Operating Supplies	Rp	655.517.293,00
-	Laboratorium	Rp	252.000.000,00
-	Pengawasan	Rp	240.000.000,00
	Langsung		
-	General Expenses	Rp	19.729.465.675,00
-	Plant Overhead	Rp	16.441.221.396,00
	Cost		
	Total Biaya Semivariabel (SVC)	Rp	46.393.377.292,00
4.	Total Penjualan (S)	Rp	605.364.934.511,00

Nilai BEP dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$BEP = \frac{FC + 0,3 SVC}{S - 0,7 SVC - VC} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan data di atas dan menggunakan persamaan (1), didapatkan nilai BEP sebesar 16,10%

V. KESIMPULAN

Pabrik sorbitol dari pati sagu dengan proses hidrogenasi katalitik ini direncanakan mempunyai kapasitas 30 kiloton per tahun yang akan dibangun di di Kawasan Industri Pelintung, Pelintung, Medang Kampai, Kota Dumai, Riau. Pabrik ini mempunyai dua unit proses utama, yaitu proses hidrolisis pati menjadi glukosa dan proses perubahan glukosa menjadi sorbitol yang akan beroperasi kontinu 24 jam selama 330 hari per tahun. Bahan baku yang digunakan berupa pati sagu sangko yang berasal dari Kepulauan Meranti, Riau dengan jumlah yang diperlukan adalah sebesar 24,2 kilo ton per tahun. Pendirian pabrik sorbitol ini membutuhkan biaya total modal tetap investasi sebesar Rp 409.698.308.037,00, total biaya operasional sebesar Rp 328.824.427916,00 per tahun, dan total penjualan pertahun sebesar Rp 605.364.934.511,00 per tahun. Dari analisa ekonomi didapatkan *internal rate of return* (IRR) sebesar 14,74%, dengan *pay out time* (POT) selama 5,22 tahun, dan break even point sebesar 16,10%. Ditinjau dari aspek teknis, ekonomis dan lingkungan pabrik sorbitol dari pati sagu dengan proses hidrogenasi katalitik ini layak dirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Faith, D. B. Keyes, & R. Clark, "Industrial Chemicals," New York: John Wiley and Sons Inc., 1975.
- [2] P. Hull, "Glucose Syrups Technology and Applications," New Delhi: Aptara Inc., 2010.
- [3] M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, & R. E. West, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers," 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [4] H. Santosa, "Hidrolisa Enzimatik Pati Tapioka Dengan Kombinasi Pemanas *Microwave-Water Bath* Pada Pembuatan Dekstrin," *Momentum* Vol. 6 (2), 29-35, 2010.
- [5] H. T. Uhi, "Utilization of Sago (Metroxylon sago) Gelatin as Feed Reminant," *JURNAL ILMU TERNAK*, Vol.6 (2), 108-111, 2006.
- [6] I. Widiasa, & I. Wenten, "Saccharification Of Native Cassava Starch at High Dry Solids in An Enzymatic Membrane Reactor," *Reaktor*, Vol. 12 (3), 129-136, 2009.
- [7] E. Nebesny, J. Rosicka, & M. Tkaczyk, "Effect of Enzymatic Hydrolysis of Wheat Starch on Amylose-Lipid Complexes Stability," *Starch/Stärke* Vol. 54, 603-608, 2002.
- [8] P. Hull, "Glucose Syrups Technology and Applications," New Delhi: Aptara Inc., 2010.
- [9] Merck. "Lembar Data Keselamatan Bahan (No. Katalog 103557)," Jakarta: Merck Indonesia, 2018.
- [10] A. Kartikasari, F. U. Pratiwi, & A. Chumaidi, "Evaluasi Ekonomi *Steam Tripple Effect* Evaporator Pada Proses Produksi Pupuk Ammonium Sulfat Ii (Za Ii) Di Industri Pupuk," *Jurnal Teknologi Separasi*, Vol. 5 (1), 1-6, 2019.