

PRARANCANGAN PABRIK *n*-BUTANOL MENGGUNAKAN PROSES HIDROGENASI *n*-BUTIRALDEHID DENGAN KATALIS COPPER ZINC OXIDE KAPASITAS PRODUKSI 5.000 TON/TAHUN

Dovan Tri Saputro*, Roby Kurniawan

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

*Corresponding Author: 95robyk@gmail.com

Abstrak

n-Butanol atau butil alkohol juga disebut bio butanol ketika diproduksi secara biologis, adalah alkohol dengan struktur karbon 4 dan rumus molekulnya adalah C_4H_9OH atau $CH_3(CH_2)_3OH$ yang digunakan sebagai pelarut, sebagai perantara dalam sintesis kimia. Aplikasi dalam industri sebagai pelarut untuk pewarna misalnya dalam tinta cetak, kemudian sebagai bahan aditif pembersih (pembersih lantai dan Penghilang noda), pelarut dalam industri tekstil sebagai bahan aditif dalam spinning baths, bahan aditif bensin (antiicing), humektan untuk nitrat selulosa, bahan baku untuk produksi eter glikol (dalam reaksi dengan etilena atau propilena oksida). Pada industri farmasi digunakan sebagai ekstrak untuk produksi obat-obatan dan zat alami (antibiotik, hormon, vitamin, dan alkaloid). Selama ini Indonesia masih mengimpor *n*-butanol dari negara lain, sehingga untuk menutupi kebutuhan import tersebut, dirancang pabrik *n*-butanol kapasitas 5.000 ton/tahun. Bahan baku pembuatan *n*-butanol yaitu butiraldehid dan hidrogen dengan kemurnian $\pm 99,5\%$ yang sudah dapat diperoleh dari dalam negeri. Lokasi pendirian di Cilegon, karena dekat dengan sumber bahan baku, pelabuhan dan kawasan industri.

Pabrik *n*-butanol yang akan dibangun diproduksi dari *n*-butiraldehid dan hidrogen menggunakan proses hidrogenasi butiraldehid. *n*-Butiraldehid serta air bekerja pada tekanan 1 atm dan temperatur 32 °C diuapkan di vaporizer dan dinaikkan tekanannya sampai 4 atm menggunakan kompresor. Reaksi pembuatan *n*-butiraldehid menjadi *n*-butanol dalam reaktor adalah fase gas sehingga digunakan reaktor jenis fixed bed. Katalis yang digunakan adalah katalis Copper Zinc Oxide. Reaksi bersifat eksotermis dan berlangsung pada suhu 192°C pada tekanan 4 atm, selanjutnya dimurnikan menggunakan menara distilasi. Produk akhir diperoleh 99% *n*-butanol. Pemenuhan air diperoleh dari waduk krenceng sebanyak 28.318,9126 kg/jam. Sedangkan kebutuhan listrik untuk operasional pabrik sebesar 548,457 kWatt. Bahan bakar untuk generator tersebut terpakai diesel oil sebanyak 6,5472 liter/jam.

Nilai Return on Investment (ROI) sesudah pajak untuk pabrik ini adalah sebesar 51,60% dan waktu pengembalian modal (POT) sesudah pajak adalah 1,62 tahun. Sedangkan kapasitas Break Even Point (BEP) adalah sebesar 46,83%, dan kapasitas Shut Down Point (SDP) adalah 38,08%. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk dipertimbangkan pendiriannya dan dapat diteruskan ke tahap perencanaan pabrik.

Kata Kunci: *n*-butanol, hidrogenasi *n*-butiraldehid, katalis copper zinc oxide, BEP, SDP

1. Pendahuluan

1-Butanol dikenal sebagai *n*-Butanol atau butil alkohol disebut bio butanol ketika diproduksi secara biologis, adalah alkohol dengan struktur karbon 4 dan rumus molekulnya adalah C_4H_9OH atau $CH_3(CH_2)_3OH$ yang digunakan sebagai pelarut, sebagai perantara dalam sintesis kimia (Anonim¹, 2013). *n*-Butanol adalah cairan yang tidak berwarna, yang sebagian larut (sekitar 7-8%) dalam air, tapi bercampur dengan mudah dengan pelarut organik seperti glikol, keton, alkohol, aldehida, eter,

hidrokarbon aromatik dan alifatik (Anonim², 2007). Bahan yang digunakan untuk memproduksi dibutil ftalat, farmasi, polimer, plastik *pyroxylin*, butil xanthate dan senyawa butil lainnya sebagai pengencer atau reaktan dalam pembuatan urea atau resin formaldehida dan resin melamin (Anonim³, 2001).

Aplikasi dalam industri sebagai pelarut untuk pewarna misalnya dalam tinta cetak, kemudian sebagai bahan aditif pembersih (pembersih lantai dan penghilang noda), pelarut dalam industri tekstil



sebagai bahan aditif dalam *spinning baths*, bahan aditif bensin (*antiicing*), humektan untuk nitrat selulosa, bahan baku untuk produksi eter glikol (dalam reaksi dengan etilena atau propilena oksida). Pada industri farmasi digunakan sebagai ekstraktn untuk produksi obat-obatan dan zat alami (antibiotik, hormon, vitamin, dan alkaloid) (Anonim⁴, 1998).

Penelitian memperkirakan pasar global n-Butanol pada akhir 2020, daerah timur tengah diharapkan menjadi pasar industri yang besar dalam waktu dekat terutama karena upaya difokuskan oleh pemerintah timur tengah untuk menarik berbagai perusahaan kimia dan industri petrokimia.

Indonesia masih mengimpor n-Butanol dari luar negeri (Amerika, Eropa, dan China) untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Data impor menunjukkan jumlah penggunaan n-Butanol di Indonesia cukup tinggi. Pada tahun 2013, jumlah impor n-Butanol sebesar 9.182.786 kg (<https://comtrade.un.org/data/>). Produsen utama n-Butanol pasar global adalah perusahaan *BASF SE* (Jerman), *The Dow Chemical Company* (AS), *BASF-YPC Ltd* (Cina), *OXO Corporation* (AS), *Sasol Ltd* (Afrika Selatan), *Formosa Plastic Corporation* (Taiwan), *Eastman Chemical Company* (AS), *Oxichimie SAS* (Prancis), *KH Neochem Co Ltd* (Jepang), *CNPC* (China) (Anonim⁵, 2015).

Kebutuhan n-Butanol yang cukup tinggi di Indonesia inilah yang menyebabkan Indonesia mengimpor n-Butanol dari luar negeri. Adanya pembangunan n-Butanol di Indonesia diharapkan bisa memenuhi kebutuhan n-Butanol dalam negeri, serta membuka peluang agar Indonesia menjadi salah satu negara pengekspor n-Butanol di kawasan Asia bersama China, sehingga membuka kesempatan terciptanya lapangan pekerjaan baru, dan dengan dibangunnya pabrik n-Butanol di Indonesia maka diharapkan akan mendorong pembangunan pabrik lainnya yang menggunakan bahan baku atau produk n-Butanol sebagai bahan baku utama dalam prosesnya. Pembangunan pabrik ini didukung dengan adanya pabrik Hidrogen yang berada di Indonesia yaitu PT. Air Liquide Indonesia, Cilegon dan Butiraldehid dari PT. Chandra Asri, Tbk, Cilegon. Oleh karena itu, pendirian pabrik n-Butanol perlu didirikan di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun diekspor sehingga bisa menambah dan meningkatkan devisa negara.

. Kebutuhan impor n-Butanol di Indonesia pada tahun 2008 sampai dengan 2015 (comtrade.com):

Tabel 1 Kebutuhan Impor n-Butanol di Indonesia

No.	Tahun	Jumlah (ton)	Pertumbuhan (%)
1	2008	4.774,019	0
2	2009	6.081,438	27,38
3	2010	6.813,269	12,03
4	2011	6.708,162	-1,54
5	2012	7.441,805	10,92
6	2013	9.183,786	23,41
7	2014	7.028,745	-23,45
8	2015	7.119,982	1,29
Pertumbuhan Rata-rata			6,25

Pabrik n-Butanol direncanakan dibangun pada tahun 2022. Berdasarkan perhitungan menggunakan *discounted method* dengan rumus sebagai berikut :

$$m_5 = P (1+i)^n \quad \dots(1.1)$$

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \quad \dots(1.2)$$

peluang kapasitas n-Butanol yang akan didirikan pada tahun 2022 sebesar 10.888,37 ton/tahun. Berdasarkan pertimbangan bahan baku, maka kapasitas yang akan C₄H₉OH yang akan didirikan sebesar 5.000 ton/tahun atau 46% dari kapasitas total.

Pabrik n-Butanol direncanakan berlokasi di Semangraya, Citangkil, Kota Cilegon, Banten. Pemilihan lokasi berdasarkan atas ketersediaan lahan yang cukup dan area transportasi yang lancar serta dekat dengan sumber bahan baku maupun bahan pendukung. Bentuk perusahaan yang direncanakan adalah Perseroan Terbatas dengan total karyawan sebanyak 123 orang.

2. Deskripsi Proses

Proses produksi n-Butanol dapat dilakukan dengan dua cara berdasarkan jenis proses yang digunakan, proses fermentasi, kondensasi aldol, hidrogenasi butil butirat, dan hidrogenasi butiraldehid. Perbandingan proses produksi C₄H₉OH :



Tabel 2 Perbandingan Proses Produksi n-Butanol

Karakteristik	Proses Fermentasi	Proses Kondensasi Aldol
Konversi	93%	8%
Proses	dengan enzim <i>Clostridium</i>	dengan katalis Cu-Mg/Al
Kondisi Operasi	20-36°C	260 °C
Waktu reaksi	42 hari	100 jam
Kemurnian	99%	80%

Karakteristik	Proses Hidrogenasi Butil Butirat	Proses Hidrogenasi Butiraldehid
Konversi	98,7%	76%
Proses	dengan katalis Cu/ZnO/Al ₂ O ₃	dengan katalis Cu/ZnO
Kondisi Operasi	175 °C ; 10 atm	192 °C ; 4 atm
Waktu reaksi	120 menit	10 menit
Kemurnian	99%	99%

Berdasarkan perbandingan proses pada Tabel 2, proses yang dipilih untuk menghasilkan n-Butanol adalah proses hidrogenasi butiraldehid

n-Butanol diproduksi dalam tiga tahap, yaitu :

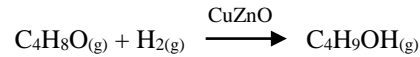
1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku n-Butiraldehid (99,5%) dan air sebanyak 3% dari umpan pada suhu 30 °C dan tekanan 1 atm disiapkan dengan kompresor dan *heater* hingga kondisi operasi 192 °C dan 4 atm lalu Hidrogen (99,5%) pada suhu 30 °C dan tekanan 14 atm juga disiapkan menggunakan ekspander dan *heater* hingga suhu 192 °C dan tekanan 4 atm.

2. Tahap Pembentukan Produk

Reaksi n-Butiraldehid dan hidrogen dengan perbandingan mol 3:1 untuk membentuk n-Butanol terjadi dalam reaktor *fixed bed* menggunakan katalis CuZnO. Reaksi berlangsung pada suhu 192 °C dan tekanan 4 atm selama 10

menit dengan konversi 76%. Reaksi berlangsung eksotermis. (U.S Patent US 4.876.402). Reaksi yang terjadi :



Produk keluaran reaktor diturunkan tekanan dan suhunya menjadi 1 atm dan 50 °C menggunakan ekspander dan *heater* lalu dialirkan menggunakan pompa menuju separator.

3. Tahap Pemurnian Produk

Pada separator memisahkan gas H₂ dan N₂ yang keluar lewat atas *Separator* di *recycle*, sedangkan n-Butanol, n-Butiraldehid dan air lewat bawah separator yang dilanjutkan proses pemurnian. Proses pemurnian menggunakan Menara Distilasi, produk bawah menara distilasi sebagian besar berupa n-Butanol, air, serta n-Butiraldehid yang tidak bereaksi yang selanjutnya didinginkan menggunakan *Cooler* dan disimpan dalam tangki penyimpanan yaitu produk akhir n-Butanol 99%. Hasil atas Menara Distilasi dialirkan ke *Waste Water Treatment* berupa n-Butiraldehid, air, dan sisa n-Butanol.

Berdasarkan tinjauan termodinamika, dapat diketahui suatu reaksi bersifat eksotermis atau endotermis dengan data dan perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999):

Tabel 3 Daftar ΔH_{298K} Komponen

Komponen	ΔH ₂₉₈ (kJ/mol)
n-Butiraldehid	-202,02
Hidrogen	0
n-Butanol	-274,43

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= \Delta H_{298} (\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}) - \\ &\quad [\Delta H_{298} (\text{C}_4\text{H}_8\text{O}) + \Delta H_{298} (\text{H}_2)] \\ &= -274,43 + [(-202,02) + (0)] \\ &= -274,43 - (-202,02) \\ &= -72,41 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi pembentukan n-Butanol bersifat eksotermis yang ditandai dengan ΔH_f bernilai negatif. Sedangkan untuk mengetahui reaksi berjalan secara



reversible atau *irreversible* dapat dilihat dari harga kesetimbangan kimia yang dipengaruhi oleh energi Gibbs dengan data dan perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999) :

Tabel 4 Daftar ΔG_{298K} Komponen

Komponen	ΔG_{298} (kJ/mol)
n-Butiraldehid	-144,77
Hidrogen	0
n-Butanol	-150,7

$$\begin{aligned}\Delta G_{298} &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\ &= \Delta G_{298}(\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}) - \\ &\quad [\Delta G_{298}(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}) + \Delta G_{298}(\text{H}_2)] \\ &= -150,7 + [(-144,77) + (0)] \\ &= -150,7 - (-114,77) \\ &= -5,93 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka reaksi pembentukan n-Butanol berlangsung secara spontan (*irreversible*).

Reaksi pembentukan n-Butanol merupakan reaksi orde 1 dengan perhitungan sebagai berikut (Fogler):

$$\begin{aligned}-r_A &= k \cdot C_A \\ C_A &= C_{A0}(1-X_A)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-r_A &= \frac{-dCA}{dt} \\ \frac{-dCA}{dt} &= k \cdot C_{A0}(1-X_A) \\ C_{A0} \frac{dXA}{dt} &= k \cdot C_{A0}(1-X_A) \\ \frac{dXA}{(1-X_A)} &= k \cdot dt\end{aligned}$$

diintegrasikan menjadi :

$$\begin{aligned}-\ln(1-X_A) &= k \cdot t \\ k &= \frac{-\ln(1-X_A)}{t} \\ k &= \frac{-\ln(1-0,76)}{10} \\ &= -\ln 0,24 \\ &= 3,7297 \text{ /menit} \\ &= 0,0622 \text{ /jam}\end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned}-r_A &= k \cdot C_A \\ &= 0,0622 \times 0,0000061 \\ &= 0,000003798 \text{ kmol/L.jam} \\ &= 0,0003798 \text{ kmol/m}^3.\text{jam}\end{aligned}$$

sehingga, laju reaksi pembentukan $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4\text{P}$ adalah sebesar $0,0003798 \text{ kmol/m}^3.\text{jam}$.

Berdasarkan perhitungan neraca massa, komposisi masuk dan keluar reaktor dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Komposisi Masuk dan Keluar Reaktor

Komponen	Aliran Masuk		Aliran Keluar (kg/jam)
	(kg/jam)	(kg/jam)	
n-Butiraldehid	-	826,63	198,39
Air	-	25,46	25,46
Hidrogen	353,26	-	335,69
Nitrogen	1,77	-	1,77
n-Butanol	-	-	645,81
Total	355,04	852,09	1.207,13

Daftar harga bahan baku dan produk dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Harga Bahan Baku dan Produk

Komponen	Harga (per kilogram)
n-Butiraldehid	Rp 66.885
Hidrogen	Rp 11.000
n-Butanol	Rp 396.549
Copper Zinc Oxide	Rp 40.417

Sumber : www.molbase.com
PT. Chandra Asri, Tbk

3. Utilitas

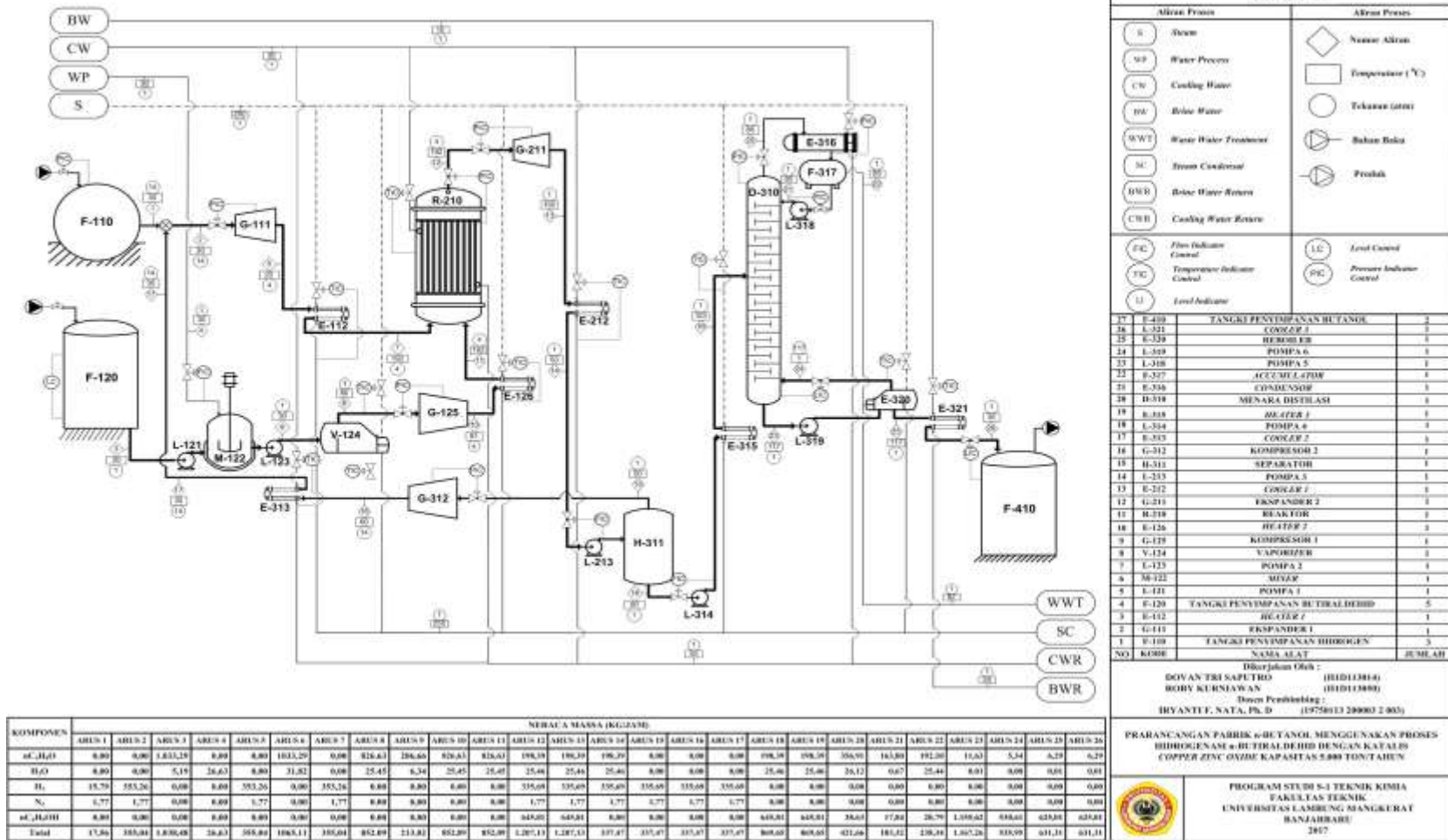
Utilitas merupakan unit penunjang dalam suatu pabrik untuk menyediakan kebutuhan *steam*, *cooling water*, *brine water*, listrik serta air. Sumber air untuk pabrik n-Butanol diperoleh dari waduk Krenceng dengan kapasitas $5.000.000 \text{ m}^3$. Pembangkit listrik utama pabrik menggunakan generator yang bahan bakarnya diperoleh dari PT. Pertamina. Kebutuhan rutin yang diperlukan dalam kegiatan operasi pabrik n-Butanol dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Kebutuhan Utilitas Pabrik n-Butanol

Kebutuhan	Jumlah (kg/jam)
Steam	566,35
Cooling water	24.427,72
Brine water	5.831,35
Bahan bakar	5,76
Air	28.318,91



PRARANCANGAN PABRIK n-BUTANOL MENGGUNAKAN PROSES HIDROGENASI n-BUTIRALDEHID DENGAN KATALIS COPPER ZINC OXIDE KAPASITAS PRODUKSI 5.000 TON/TAHUN



Gambar 1 Flow Diagram Process Prarancangan Pabrik n-Butanol Menggunakan Proses Hidrogenasi n-Butiraldehid Dengan Katalis Copper Zinc Oxide Kapasitas Produksi 5.000 Ton/Tahun



PRARANCANGAN PABRIK n-BUTANOL MENGGUNAKAN PROSES HIDROGENASI n-BUTIRALDEHID DENGAN KATALIS COPPER ZINC OXIDE KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARRANG
2017

4. Analisis Ekonomi

Pabrik n-Butanol memerlukan modal dengan seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Jumlah Biaya Pendirian Pabrik n-Butanol

Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
FCI	207.353.518.925,68
TPC	1.774.036.368.670,69
TCI	561.676.057.325,35
WC	339.511.572.762,12

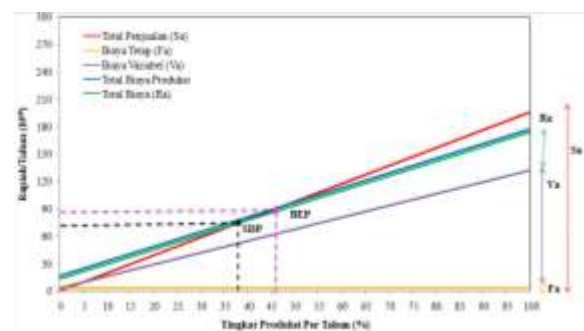
Suatu pabrik dikatakan sehat jika dapat memberikan keuntungan yang layak bagi perusahaan. Perancangan pabrik layak atau tidak untuk dibangun dapat diketahui melalui analisa ekonomi. Berdasarkan analisis tersebut dapat diambil keputusan untuk menjalankan proyek, menunda atau tidak menjalankannya (Prasetya at al., 2014). Beberapa faktor yang harus ditinjau dalam menganalisa kelayakan pendirian pabrik antara lain *Percent Return on Investment* (ROI), *Pay Out Time* (POT), *Interest Rate of Return* (IRR), *Break Event Point* (BEP) dan *Shut Down Point* (SDP).

Tabel 8 Analisis Ekonomi

Analisa Kelayakan	Nilai	Batasan	Ket
ROI	51,60%	Minimal 11%	Layak
POT	1,62 th	Maksimal 5 th	Layak
IRR	18,17%	> 12%	Layak
BEP	46,83%	40% - 60%	Layak
SDP	38,08%	20%-40%	Layak

ROI merupakan perkiraan keuntungan yang dapat diperoleh setiap tahun, didasarkan pada kecepatan pengembalian modal industri yang diinvestasikan (Alimah, 2013). Semakin besar persentasenya, maka keadaan perusahaan semakin baik (Simamora, 2002). POT merupakan jangka waktu pengembalian dana investasi (Alimah, 2013). IRR adalah tingkat bunga yang dapat membuat besarnya *net present value* (NPV) sama dengan nol. Pabrik layak untuk diusahakan dan memberikan keuntungan jika nilai IRR lebih besar dari bunga bank (Haryadi, 2012). Berdasarkan hasil perhitungan, nilai bunga bank yang diperoleh

untuk melunasi modal pinjaman pada bank dalam waktu 10 tahun adalah 12%. BEP merupakan titik impas, dimana nilai total *output* pendapatan atau total *output* penjualan sama dengan total biaya yang telah dikeluarkan, sehingga perusahaan tidak dalam keadaan untung maupun rugi (Haryadi, 2012). SDP adalah suatu titik penentuan aktivitas produksi lebih baik dihentikan daripada dilanjutkan beroperasi (Sari, 2016). Grafik kelayakan analisis ekonomi pabrik n-Butanol dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik SDP dan BEP Pabrik n-Butanol Kapasitas 5.000 Ton/Tahun

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan Prarancangan Pabrik n-Butanol menggunakan Proses Hidrogenasi n-Butiraldehid dengan Katalis *Copper Zinc Oxide* Kapasitas Produksi 5.000 Ton/Tahun, dapat disimpulkan bahwa pabrik layak untuk dibangun. Kelayakan pembangunan pabrik dapat dilihat dari beberapa faktor hasil perhitungan analisis ekonomi, yaitu didapatkan nilai ROI 51,60%, POT 1,62 tahun, IRR 18,17%, BEP 46,83% dan SDP 38,08%.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmowisastro, D., 2007. *Butanol dipromosikan sebagai Gasohol*. Warta Pertamina. www.pertamina.com
- Brown, G. G et all. 1956. *Unit Operations*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Brownell, Llyod E and Edwin H.Y. 1959. *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.





- Coulson, J.M and J. F Richardson. 1999. *Chemical Engineering Design Volume 6*. Department of Chemical Engineering: Butterworth-Heinemann.
- Geankoplis, Christie John. 1997. *Transport Processes and Unit Operation Third Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Halimatuddahlia. 2004. *Pembuatan n-Butanol dari Berbagai Proses*. USU Digital Library. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Himmeblau, David M and James B.Riggs. 2004. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering Seventh Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kang et al. 2011. *Method Of Extracting Butyric Acid From A Fermented Liquid And Chemically Converting Butyric Acid*. Korea Institute of Science and Technology. Seoul
- Kern, D.Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: Mc.Graw Hill.
- Ketta, John, 1990. *Encyclopedia Chemical Process and Design*. Marchell Dekker Inc., New York.
- Kirk-Othmer. 1981. *Encyclopedia of Chemical Technology Vol.19*. John Wiley & Sons inc. New York.
- Logsdon et al. 1989. *Improved Aldehyde Hydrogenation Process*. Union Carbide Chemicals and Plastics Company. Connecticut
- Ju I.B., Jeon W., Park M.J., et al. 2010. *Kinetic Studies of Vapor-Phase Hydrogenolysis of Butyl Butyrate to Butanol Over Cu/ZnO/Al₂O₃ Catalyst*. Appl Catal A-Gen. 387:100-6
- Mc.Cabe.JF.Walls. A. 1993. *Applied Dental Material*. Singapore: Blackwell Publishing.
- Perry, R.H. & Don Green. 1984. *Chemical Engineer's Hand Book, 6th ed*. McGraw-Hill Book Co. Tokyo.
- Smith, J.M, H.C Van Ness and M.M Abbott. 2005. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Seventh Edition*. New York: Mc Graw Hill.
- Timmerhaus, Klaus D and Max S.P. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Treybal, R.E. 1981. *Mass Transfer Operation Third Edition*. Singapore: McGraw Hill Book Company.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- Wardhani, Sri. 2010. *Hydrogen*. Jurusan Kimia, Fakultas MIPA Univeristas Brawijaya. Malang.
- Yong, ae al. 2016. *Effect of Water on Ethanol Conversion Over ZnO*. The Gene and Linda Voiland School of Chemical Engineering and Bioengineering. Washington State Pullman. USA

