

# PRARANCANGAN PABRIK ETIL KLORIDA DARI ETANOL DAN ASAM KLORIDA DENGAN PROSES HIDROKLORINASI ETANOL MENGGUNAKAN KATALIS ZINK KLORIDA KAPASITAS PRODUKSI 20.000 TON/TAHUN

Kurnia Sandy Ari Kusnawan\*, Muhammad Irham Rasidi

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Jalan A. Yani KM 35, Kampus Unlam Banjarbaru, Kalimantan Selatan

\*Corresponding Author: kurnia.sandy27@gmail.com

## Abstrak

Etil klorida ( $C_2H_5Cl$ ) atau yang biasa dikenal dengan nama chloroethane merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai refrigerant, agen penghasil busa, aditif anti-ketukan untuk bensin bertimbal, dan obat bius. Pabrik  $C_2H_5Cl$  ini direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun dengan kapasitas produk etil klorida sebesar 20.000 ton/tahun. Pabrik ini direncanakan akan beroperasi pada tahun 2021 di Kecamatan Citangkil, Kota Cilegon, Provinsi Banten. Bahan baku utama yang digunakan adalah etanol ( $C_2H_5OH$ ) dan asam klorida ( $HCl$ ) dengan menggunakan bantuan katalis zink klorida ( $ZnCl_2$ ).

Produksi  $C_2H_5Cl$  beroperasi pada kondisi tekanan 6 atm dan suhu masuk  $325^\circ C$ . Reaksi berlangsung dalam reaktor fixed bed multitube dan reaksi bersifat eksotermis (mengeluarkan panas). Produk keluaran reaktor selanjutnya dialirkan menuju menara distilasi 1 dan diperoleh hasil atas berupa etil klorida dengan konversi 94,7% serta kemurnian 99,7% serta hasil bawah didapatkan campuran dietil eter, asam klorida, etanol, dan air. Produk hasil atas kemudian disimpan didalam tangki penyimpanan etil klorida, sedangkan produk hasil bawah berupa campuran dietil eter, asam klorida, etanol, dan air dipisahkan didalam menara distilasi 2. Produk hasil atas menara distilasi 2 berupa dietil eter dengan kemurnian 98% yang kemudian akan disimpan didalam tangki penyimpanan dietil eter, sedangkan hasil bawah berupa campuran asam klorida, etanol, dan air yang akan dialirkan menuju Waste Water Treatment Process (WWTP).

Pemasaran  $C_2H_5Cl$  diutamakan untuk konsumsi dalam negeri dan sebagian juga dipasarkan diluar negeri. Bentuk perusahaan berupa Perseroan Terbatas (PT). Sistem kerja karyawan berdasarkan pembagian menurut jam kerja yang terdiri dari shift dan non shift dengan tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 167 orang. Adapun hasil analisa ekonomi memberikan hasil investasi modal total (TCI) adalah sebesar Rp 892.988.929.184,84 dan diperoleh hasil penjualan yaitu sebesar 2.930.795.550.720,00. Selain itu diperoleh juga Return of Investment (ROI) sebelum pajak sebesar 74% dan Return of Investment (ROI) sesudah pajak sebesar 48%. Pay Out Time (POT) sebelum pajak yaitu 1,19 tahun dan Pay Out Time (POT) sesudah pajak sebesar 1,72 tahun. Sehingga diperoleh Break Event Point (BEP) sebesar 47% dan Shut down point (SDP) sebesar 38%. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, maka pabrik etil klorida dengan kapasitas 20.000 ton/tahun ini cukup menarik untuk didirikan.

**Kata kunci:** etil klorida, etanol, asam klorida, hidroklorinasi etanol, katalis  $ZnCl_2$

## 1. Pendahuluan

Salah satu upaya untuk memacu kemajuan dan memperkokoh struktur ekonomi nasional ialah dengan mendorong pembangunan dan perkembangan industri pabrik kimia. Perkembangan industri yang semakin meningkat ialah industri bahan polimer untuk menghasilkan produk sintesis dan plastik. Etil klorida merupakan bahan baku dasar pembuatan etil selulosa, yang merupakan

senyawa kimia utama didalam industri pembuatan plastik dan varnish. (Mc. Ketta and Cunningham, 1979). Selain itu etil klorida juga digunakan dalam bidang industri obat-obatan, *butyl rubber*, *senyawa organosilicon*, *ethylation agent* dan *tetraetillead* (TEL) (Kirk Othmer, 1996).

$C_2H_5Cl$  diproduksi dengan mereaksikan etanol ( $C_2H_5OH$ ) dan asam klorida ( $HCl$ ) (Kirk Othmer, 1996). Ketersediaan bahan baku



dapat dipenuhi dari PT. Indo Acidatama, Jawa Tengah dan PT. Asahimas Chemical, Banten. Indonesia hingga saat ini masih belum memiliki pabrik pembuatan  $C_2H_5Cl$  sehingga untuk memenuhi kebutuhan didalam negeri masih harus mengimpor dari luar negeri. Sehingga dengan membangun pabrik  $C_2H_5Cl$  di Indonesia dapat mengurangi kebutuhan Etil Klorida di dalam negeri, membuka lapangan pekerjaan baru serta memacu berdirinya pabrik-pabrik lain yang menggunakan bahan baku  $C_2H_5Cl$ . Kebutuhan impor  $C_2H_5Cl$  di Indonesia pada tahun 2011 sampai dengan 2016 (www.bps.go.id):

**Tabel 1** Kebutuhan Impor  $C_2H_5Cl$  di Indonesia

No.	Tahun	Jumlah (ton)	Pertumbuhan (%)
1	2011	2.770	0
2	2012	7.268	162,38
3	2013	6.311	-13,17
4	2014	9.327	47,79
5	2015	17.936	92,30
6	2016	19.157	6,81
Pertumbuhan Rata-rata			49,35

Pabrik  $C_2H_5Cl$  direncanakan dibangun pada tahun 2022. Berdasarkan perhitungan menggunakan *discounted method* dengan rumus sebagai berikut (Peters, 1991):

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

$$m_1 = (m_1 + m_s) - (m_1 + m_2) \quad \dots(1.2)$$

peluang kapasitas pabrik  $C_2H_5Cl$  yang akan didirikan pada tahun 2022 sebesar 29.000 ton/tahun. Berdasarkan pertimbangan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, maka kapasitas yang akan  $C_2H_5Cl$  yang akan didirikan sebesar 20.000 ton/tahun atau 68,9% dari kapasitas total.

Pabrik  $C_2H_5Cl$  direncanakan berlokasi di Kecamatan Citangkil, Kabupaten Cilegon Provinsi 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 167 orang.

## 2. Deskripsi Proses

Didalam industri ada tiga proses dalam pembuatan  $C_2H_5Cl$  berdasarkan bahan baku yang digunakan, yaitu diproduksi dari etilen ( $C_2H_4$ ) dan asam klorida (HCl), etana ( $C_2H_6$ ) dan klorin ( $Cl_2$ ), serta etanol ( $C_2H_5OH$ ) dan asam klorida (HCl). Perbandingan proses dalam produksi  $C_2H_5Cl$  :

**Tabel 2** Perbandingan Proses Produksi  $C_2H_5Cl$

Parameter	Proses		
Bahan baku	$C_2H_4 + HCl$	$C_2H_6 + Cl_2$	$C_2H_5OH + HCl$
Temperatur	200°C	230-450°C	325°C
Tekanan	17 atm	tinggi	6 atm
Kemurnian	90%	78%	99,7%
Yield	98%	-	98%
Reaksi Samping	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
Biaya Bahan Baku	Murah	Mahal	Mahal

Berdasarkan perbandingan proses pada Tabel 2, maka proses yang dipilih untuk memproduksi  $C_2H_5Cl$  adalah proses dengan menggunakan bahan baku  $C_2H_5OH$  dan HCl.

$C_2H_5Cl$  diproduksi dalam secara tiga tahap, yaitu :

### 1. Tahap Persiapan Bahan Baku

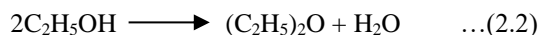
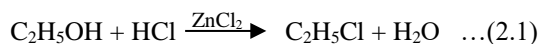
Bahan baku cair  $C_2H_5OH$  (96,5%) dan HCl (37%) disimpan dalam tangki penyimpanan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Kemudian diumpankan menuju ke dalam vaporizer untuk diubah fasenya menjadi fase gas. Setelah itu dimasukkan ke dalam separator untuk dipisahkan antara fase cair dan gas, hasil bawah separator akan di *recycle* kembali menuju vaporizer sedangkan produk atas akan dinaikkan tekanannya menjadi 6 atm. Selanjutnya bahan akan dipanaskan dalam *heat exchanger* hingga suhunya menjadi 325°C.

### 2. Tahap Pembentukan Produk

Reaksi  $C_2H_5Cl$  dan HCl dengan perbandingan mol 1:1 untuk membentuk  $C_2H_5Cl$  terjadi didalam reaktor *fixed bed multitub*. Reaksi berlangsung pada suhu 325°C dan tekanan 6 atm dengan konversi 94,7%. Reaksi pembentukan  $C_2H_5Cl$  dibantu dengan penambahan katalis  $ZnCl_2$  sebesar



2% dari bahan baku campuran (U.S Patent 2,396,192, 1946). Reaksi yang terjadi :



Produk keluaran reaktor kemudian diturunkan tekanan dan suhunya menjadi 2 atm dan 69°C menggunakan ekspander dan kondensor lalu dialirkan menuju menara distilasi untuk memurnikan produk campuran.

### 3. Tahap Pemurnian Produk

Produk keluaran reaktor masih terdiri dari beberapa komponen yaitu  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$  (produk utama),  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$  (produk samping),  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{HCl}$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Produk kemudian dialirkan menuju ke menara distilasi 1 untuk memisahkan produk utama dengan komponen lainnya. Hasil atas menara distilasi 1 yang merupakan  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$  akan dialirkan *cooler* untuk diturunkan suhunya menjadi 30°C sebelum dialirkan menuju ke dalam tangki penyimpanan etil klorida, sedangkan hasil bawah akan dialirkan menuju ke dalam menara distilasi 2. Menara distilasi 2 digunakan untuk memurnikan produk samping dari komponen lainnya. Hasil atas menara distilasi 2 yang merupakan  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$  akan didinginkan didalam *cooler* hingga suhunya menjadi 30°C sebelum dialirkan menuju ke dalam tangki penyimpanan dietil eter, sedangkan produk bawah akan dialirkan menuju unit pengolahan *waste water treatment process* (WWTP).

Berdasarkan tinjauan termodinamika, dapat diketahui suatu reaksi bersifat eksotermis atau endotermis. Tinjauan termodinamika pada reaksi pembentukan etil klorida dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999):

**Tabel 3** Daftar  $\Delta H_{298K}$  Komponen

Komponen	$\Delta H_{298}$ (kJ/mol)
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-234,81
$\text{HCl}$	-92,30
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	-111,71
$\text{H}_2\text{O}$	-241,8

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= [\Delta H_{298} (\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) + \Delta H_{298} (\text{H}_2\text{O})] - \\ &\quad [\Delta H_{298} (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + \Delta H_{298} (\text{HCl})] \\ &= [-111,71 + (-241,8)] - [-234,81 + (-92,30)] \\ &= -353,51 - (-327,11) \\ &= -26,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Sedangkan tinjauan termodinamika untuk reaksi pembentukan dietil eter dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999):

**Tabel 4** Daftar  $\Delta H_{298K}$  Komponen

Komponen	$\Delta H_{298}$ (kJ/mol)
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-234,81
$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	-252,21
$\text{H}_2\text{O}$	-241,8

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= [\Delta H_{298} (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O} + \Delta H_{298} (\text{H}_2\text{O})] - \\ &\quad [2\Delta H_{298} (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})] \\ &= [-252,21 + (-241,8)] - [2(-234,81)] \\ &= -494,01 - (-469,62) \\ &= -24,39 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi pembentukan  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$  dan  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$  bersifat eksotermis yang ditandai dengan  $\Delta H_f$  bernilai negatif. Sedangkan untuk mengetahui reaksi berjalan secara *reversible* atau *irreversible* dapat dilihat dari harga kesetimbangan kimia yang dipengaruhi oleh energi Gibbs. Untuk reaksi pembentukan etil klorida dapat dilihat dengan data dan perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999) :

**Tabel 5** Daftar  $\Delta G_{298K}$  Komponen

Komponen	$\Delta G_{298}$ (kJ/mol)
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-168,28
$\text{HCl}$	-95,30
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	-60,00
$\text{H}_2\text{O}$	-228,6

$$\begin{aligned} \Delta G_{298} &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\ &= [\Delta G_{298} (\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) + \Delta G_{298} (\text{H}_2\text{O})] - \\ &\quad [\Delta G_{298} (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + \Delta G_{298} (\text{HCl})] \\ &= [-60,00 + (-228,6)] - [-168,28 + (-95,30)] \\ &= -288,6 - (-263,58) \\ &= -25,02 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$



Sedangkan untuk reaksi pembentukan dietil eter dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999):

**Tabel 6** Daftar  $\Delta G_{298K}$  Komponen

Komponen	$\Delta G_{298}$ (kJ/mol)
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-168,28
(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	-122,34
H <sub>2</sub> O	-228,6

$$\begin{aligned} \Delta G_{298} &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\ &= [\Delta G_{298} (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O} + \Delta G_{298} (\text{H}_2\text{O})] - \\ &\quad [2\Delta G_{298} (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})] \\ &= [-122,34 + (228,6)] - [2(-168,28)] \\ &= -350,94 - (-336,56) \\ &= -14,38 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka reaksi pembentukkan C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl dan (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>O berlangsung secara spontan (*irreversible*).

Reaksi pembentukkan C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl merupakan reaksi orde 1 dengan perhitungan sebagai berikut (Fogler):

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

diintegrasikan menjadi :

$$\begin{aligned} -\ln(1 - X_A) &= k \cdot t \\ k &= \frac{-\ln(1 - X_A)}{t} \\ k &= \frac{-\ln(1 - 0,947)}{2} \\ &= 1,4687/\text{s} \\ &= 4,0797 \cdot 10^{-4}/\text{jam} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} -r_A &= k \cdot C_A \\ &= 4,0797 \cdot 10^{-4} \times 1,8441 \cdot 10^{-5} \\ &= 7,5233 \cdot 10^{-9} \text{ kmol/L.jam} \\ &= 7,5233 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{jam} \end{aligned}$$

sehingga, laju reaksi pembentukkan C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl adalah sebesar 7,5233.10<sup>-6</sup> kmol/m<sup>3</sup> 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 (kg/jam)	Aliran Keluar (kg/jam)
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	3.933,9253	324,3118
H <sub>2</sub> O	2.710,9433	3.769,5813
HCl	1.508,3444	79,9423
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	-	2.527,4111
(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	-	1.451,9274
<b>TOTAL</b>	<b>8.153,1739</b>	<b>8.153,1739</b>

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

**Tabel 6** Harga Bahan Baku dan Produk

Komponen	Harga (per kilogram)
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Rp 19.287
H <sub>2</sub> O	Rp 15.674
HCl	Rp 32.120
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	Rp 146.540
(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	Rp 18.920

Sumber : [www.molbase.com](http://www.molbase.com)

### 3. Utilitas

Utilitas merupakan unit penunjang utama untuk memperlancar proses produksi pada suatu pabrik untuk menyediakan kebutuhan steam dan air pendingin, serta listrik. Sumber air untuk pabrik C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl diperoleh dari waduk Krenceng dengan kapasitas 118.800 m<sup>3</sup>/hari. Pembangkit listrik utama pabrik menggunakan generator yang bahan bakarnya diperoleh dari PT. Pertamina dan ketersediaan listrik diatur oleh PT. Krakatau Daya Listrik. Kebutuhan rutin yang diperlukan dalam kegiatan operasi pabrik C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl dapat dilihat pada Tabel 7.

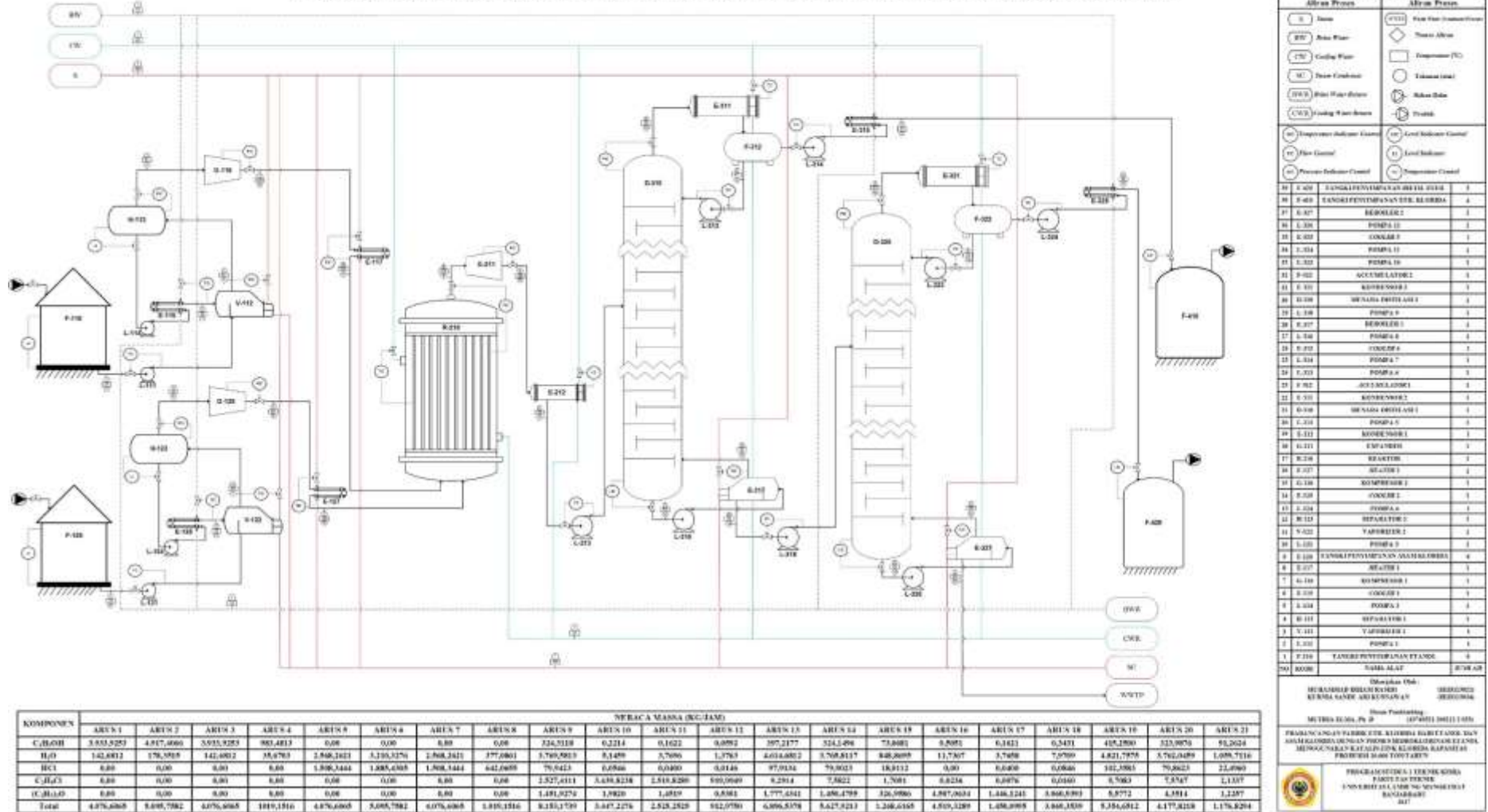
**Tabel 7** Kebutuhan Utilitas Pabrik C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl

Kebutuhan	Jumlah (kg/jam)
Steam	7.666,7930
Cooling water	196.222,9356
Brine water	6.177,4792
Bahan bakar	33,1945





## PRARANCANGAN PABRIK ETIL KLORIDA DARI ETANOL DAN ASAM KLORIDA DENGAN PROSES HIDROKLORINASI ETANOL MENGGUNAKAN KATALIS ZINK KLORIDA KAPASITAS PRODUKSI 20.000 TON/TAHUN



## 4. Analisis Ekonomi

Pabrik  $C_2H_5Cl$  memerlukan modal dengan seperti pada Tabel 8.

**Tabel 8** Jumlah Biaya Pendirian Pabrik  $C_2H_5Cl$

Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
FCI	306.909.377.111,03
TPC	2.660.269.949.703,14
TCI	858.815.280.834,56
WC	529.983.805.358,45

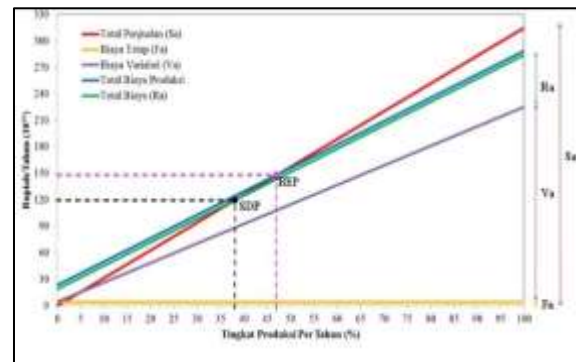
Suatu pabrik dikatakan potensial jika dapat memberikan keuntungan yang layak bagi perusahaan. Perancangan pabrik dapat dikatakan layak atau tidak untuk dibangun melalui analisa ekonomi. Beberapa faktor yang harus ditinjau dalam menganalisa kelayakan pendirian pabrik antara lain *percent return on investment (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	48	Minimal 11%	Layak
POT	1,72 th	Maksimal 5 th	Layak
IRR	14,74%	> 13%	Layak
BEP	47%	40% - 60%	Layak
SDP	38%	20%-40%	Layak

ROI adalah tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan dari tingkat investasi yang dikeluarkan (Alimah, 2013). Semakin besar persentasenya, maka keadaan perusahaan semakin baik (Simamora, 2002). POT merupakan waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang dicapai (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 14,74%. 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  $C_2H_5Cl$  dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Grafik SDP dan BEP Pabrik  $C_2H_5Cl$  Kapasitas 20.000 Ton/Tahun

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan prarancangan pabrik etil klorida dari etanol dan asam klorida dengan proses hidroklorinasi etanol menggunakan katalis zink lorida kapasitas produksi 20.000 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 48%, POT 1,72 tahun, IRR 14,74%, BEP 47% dan SDP 38%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S. and Newton, R.D., 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: MC Graw Hill Book Company inc.
- Brown, George G. 1956. *Unit Operations*. CBS Publishers & Distributors. New Delhi.
- Brownell, Lloyd E., Edwin H. Young. 1959. *Process Equipment Design*. John Wiley & Sons. USA.
- Buchanko, N., J. Warna, A. Samikannu., and J. P. Mikkola. 2016. *Kinetic Modeling of Gas Phase Synthesis of Ethyl Chlorida from Ethanol and HCl in Fixed Bed Reactor*.



- Chemical Engineering Science. 142:310-317.
- Buchanko, N., A. Samikannu., W. Larsson., A. Schukarev., A. R. Leino., K. Kordas., J. Warna., and J. P. Mikkola. 2013. *Continous Gas-Phase Synthesis of 1-Ethyl Chloride from Ethyl Alcohol and Hydrochloric Acid over Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Based Catalys: The "Green" Route*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 1(8):883-893.
- Coulson, J. M. and J. F. Richardson. 1989. *An Introduction to Chemical Engineering*. Allyn and Bacon Inc. Massachusetts.
- Coulson, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design Volume 6 4<sup>th</sup> Edition*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford.
- Culp, et. Al., 1978. *Handbook of Anvanced Wastewater Treatment*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 2002. *Standar Kualitas Air Bersih*.
- Geankoplis, Christie J. 1997. *Transport Process and Unit Operations 3<sup>rd</sup> Edition*. Prenstice-Hall International, Inc. New Jersey.
- Geankoplis, Christie J. 2003. *Transport Process and Unit Operations 3<sup>rd</sup> Edition*. Prenstice-Hall International, Inc. New Jersey.
- Gordon, M, Fair. 1968. *Water and Waste Water Engineering Voume 2*. John Wiley& Sons, Inc. New York.
- Hesse, H. C. 1945. *Process Equipment Design*. D. Van Nostrand Company, Inc. New Jersey.
- Kern, Donald Q. 1950. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill International Book Company, Inc. Japan.
- Kirk, Raymond E. dan Donald F. Othmer. 1996. *Encyclopedia of Chemical Technology, Pigments to Powders, Handling*. John Wiley & Sons, Inc. Universitas Michigan.
- Mc Ketta, J. J. dan Cunningham, W. A. 1983. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. Merzell Dekker. New York.
- Perry, Robert H. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7<sup>th</sup> Edition*. McGraw-Hill Company. USA.
- Peters, Max S and Klaus D. Timmerhaus. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. Mc Graw Hill International. Singapore.
- Smith, J. M. H. C. Van Ness, dan M. M. Abbott. 2005. *Intoduction to Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> Edition*. McGraw-Hill International. New York.
- Ullman, Fritz. 1985. *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry Vol. 3*. John Willey and Sons Inc. New York.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- Walas, S.M. 1990. *Chemical Process Equipment (Selection and Design)*. USA: Buterworth-Heineman.
- Yaws. 1999. *Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamics, Environmetal, Transport, Safety, and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals*. Mc-Graw-Hill. USA.

