

**PRARANCANGAN PABRIK ETILEN KARBONAT
DARI ETILEN OKSIDA DAN KARBON DIOKSIDA
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik**

Oleh :

SABIQUL HUDAY

D 500 120 003

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2017

HALAMAN PERSETUJUAN

**PRARANCANGAN PABRIK ETILEN KARBONAT
DARI ETILEN OKSIDA DAN KARBON DIOKSIDA
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

SABIOUL HUDAY

D 500 120 003

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen
Pembimbing



Tri Widayatno, S.T., M.T., Ph.D.

NIK. 960

HALAMAN PENGESAHAN
PRARANCANGAN PABRIK ETILEN KARBONAT
DARI ETILEN OKSIDA DAN KARBON DIOKSIDA
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA


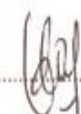

OLEH

SABIQUL HUDAY

D 500 120 003

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 15 Juni 2017
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D. (.....) 
(Ketua Dewan Penguji)
2. Eni Budiyati, S.T., M.Eng. (.....) 
(Anggota 1 Dewan Penguji)
3. Tri Widayatno, S.T., M.Sc., Ph.D. (.....) 
(Anggota 2 Dewan Penguji)

Dekan Fakultas Teknik,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 20 Juni 2017

Penulis,



SABIQUL HUDAY

D 500 120 003

**PRARANCANGAN PABRIK ETILEN KARBONAT
DARI ETILEN OKSIDA DAN KARBON DIOKSIDA
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**

Abstrak

Etilen karbonat ($C_3H_4O_3$) merupakan salah satu bahan kimia yang digunakan sebagai bahan pembuatan polimer, pelarut polar, *plasticizer*, prekursor, dll. Etilen karbonat diproduksi dengan menggunakan proses karbonasi etilen oksida yang dilakukan di dalam reaktor gelembung dengan pendingin air dan berlangsung pada fase cair-gas. Reaksi bersifat eksotermis, dan reaktor dijalankan secara *isothermal*, dan non adiabatik dengan kondisi operasi pada suhu $160^\circ C$ dengan tekanan 80 atm. Pabrik etilen karbonat membutuhkan bahan baku etilen oksida sebesar 1890,1365 kg/jam, CO_2 sebesar 2119,3665 kg/jam dan katalis trimetilamin sebesar 3,8574 kg/jam. Utilitas meliputi penyediaan air diperoleh dari air sungai. Total air *make up* yang digunakan sebanyak 1892,5594 kg/jam, *make up* air untuk kebutuhan *steam* sebesar 109,8745 kg/jam, udara tekan sebesar $60,912\ m^3$ /jam, listrik sebesar 251,3004 kW dan bahan bakar sebesar $0,0943\ m^3$ /jam.

Pabrik etilen karbonat direncanakan berdiri pada tahun 2020 di daerah Cilegon, Banten. *Fixed capital investment* (FCI) pabrik ini adalah Rp 165.534.309.981 untuk *working capital* (WC) sebesar Rp 67.690.577.524. Untuk biaya produksi pertahunnya sebesar Rp 585.150.401.240. Dari analisa ekonomi dapat ditunjukkan bahwa *Percent return on investment* (ROI) sebelum pajak 69,34% dan ROI setelah pajak 52,00%. *Pay out time* (POT) sebelum pajak 1,24 tahun sedangkan setelah pajak 1,61 tahun. *Break event point* (BEP) sebesar 41,21%. *Shut down point* (SDP) sebesar 28,495% dan *discounted cash flow* (DCF) sebesar 66,045%. Dari hasil analisa ekonomi di atas disimpulkan bahwa pabrik etilen karbonat ini layak untuk didirikan di Indonesia.

Kata kunci : etilen karbonat, karbonasi etilen oksida, reaktor gelembung, etilen oksida

Abstract

Ethylene carbonate ($C_3H_4O_3$) is a chemicals used as a polymeric material, polar solvent, plasticizer, precursor, etc. Ethylene carbonate is produced using ethylene oxide carbonation process which is carried out in a bubble reactor with cooling water and proceed on a liquid-gas phase. The reaction is exothermic, and the reactor is isothermally operated, and non adiabatic with the operating conditions at a temperature of $160^\circ C$ with pressure 80 atm. Ethylene carbonate plant requires raw material, such as ethylene oxide at 1.890,1365 kg/hour, CO_2 amounted to 2.119,3665 kg/hour and trimethylamine catalyst of

3,8574 kg/hour. Utilities include water supply is obtained from river water. Amount of make up water is used as much as 1.892.5594 kg/hour, demand of steam is 109,8745 kg/hour, amount of compressed air is 60,912 m³/hour, amount of electricity is 251,3004 kW and amount of fuel is 0.0943 m³/hour.

The ethylene carbonate plant is planned to stand in 2020 in the area of Cilegon, Banten. Fixed capital investment (FCI) of this plant is Rp 165.534.309.981, and amount of working capital (WC) is Rp 67.690.577.524. The cost of annual production is Rp 585.150.401.240. From the economic analysis it can be shown that percent return on investment (ROI) before tax is 69,34% and ROI after tax is 52,00%. Pay out time (POT) before tax is 1,24 years, while after tax is 1,61 years. Break event point (BEP) is 41,21%. The amount of shut down point (SDP) is 28,495%, and the discounted cash flow (DCF) is 66,045%. From the result of the economic analysis of ethylene carbonate plant is feasible to set up in Indonesia.

Keywords : ethylene carbonate, ethylene oxide carbonation, bubble reactor, ethylene oxide

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Seiring dengan pengembangan pembangunan industri kimia di Indonesia salah satu jenis industri kimia yang besar pengaruhnya terhadap industri kimia di Indonesia adalah industri etilen karbonat. Bahan ini dapat berperan sebagai bahan untuk pembuatan polimer, pelarut polar, *plasticizer*, dan prekursor.

Dengan meningkatnya kebutuhan etilen karbonat di dunia industri, memicu berdirinya pabrik kimia untuk menghasilkan etilen karbonat maka pembangunan pabrik etilen karbonat di dalam negeri menjadi sangat perlu.. Hal yang harus dipertimbangkan saat mendirikan pabrik etilen karbonat salah satunya adalah melihat dari data kebutuhan etilen karbonat di dunia.

1.2. Kapasitas Pabrik

Kebutuhan etilen karbonat di Indonesia cukup banyak. Maka dari itu pabrik etilen karbonat cukup penting di Indonesia. Data kebutuhan etilen karbonat di Indonesia pada tahun 2009 sampai tahun 2015, dapat di lihat pada tabel 1.1 berikut:

Tabel 1.1. Data Kebutuhan etilen karbonat di Indonesia

NO.	Tahun	Kebutuhan etilen karbonat (kg/tahun)
1.	2009	120.977
2.	2010	225.163
3.	2011	225.163
4.	2012	234.685
5.	2013	392.294
6.	2014	249.806
7.	2015	226.561

Dengan didirikannya pabrik etilen karbonat dengan kapasitas 30.000 ton/tahun maka diharapkan dapat memenuhi kebutuhan di Indonesia serta mampu mengekspor di pasar internasional.

1.3. Penentuan Lokasi

Pabrik etilen karbonat dengan kapasitas 30.000 ton/tahun ini direncanakan akan didirikan di daerah Cilegon, provinsi Banten. Pemilihan lokasi tersebut mempertimbangkan beberapa hal seperti ketersediaan bahan baku, pemasaran, transportasi, tenaga kerja, utilitas, perijinan, keadaan geografis dan ketersediaan sarana pendukung.

1.4. Tinjauan Pustaka

Ada dua proses yang dapat digunakan dalam pembuatan etilen karbonat, antara lain proses Jefferson dan proses Hulls (Mc. Ketta, 1998). Pabrik ini menggunakan proses Hulls dengan alasan kondisi operasi tidak terlalu tinggi dengan suhu 160-200°C dan tekanan 80 atm, selain itu prosesnya lebih sederhana dengan produk yang sama baiknya.

1.5. Kegunaan Produk

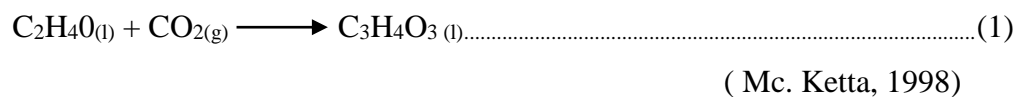
Produk asam benzoat ini diproduksi dalam bentuk cair. Etilen karbonat adalah pelarut yang sangat baik untuk banyak bahan organik dan anorganik dalam aplikasi seperti pelapis permukaan, pewarna, serat, plastik dan baterai ion litium. Ini juga merupakan reaktif menengah yang sangat baik untuk alkilasi selektif,

transesterifikasi dan pembentukan karbamat. dan juga Etilen karbonat adalah salah satu bahan baku dari *polymer polycarbonat* (Mc. Ketta, 1998).

2. METODE

2.1. Dasar Reaksi

Proses pembuatan senyawa etilen karbonat merupakan reaksi gas-cair dan merupakan reaksi orde dua. Reaksi terjadi antara etilen oksida dengan karbon dioksida membentuk senyawa etilen karbonat didalam reaktor gelembung dengan kondisi operasi pada suhu 160 °C dan tekanan 80 atm dengan konversi 98%. Reaksi yang terjadi adalah



2.2. Tinjauan Termodinamika

2.2.1. Panas reaksi

Dengan melihat persamaan reaksi sebelumnya maka panas reaksi pembentukan standar (ΔH°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,15 K dari reaktan dan produk yaitu :

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{\text{reaksi}} &= (\sum (n \Delta H^{\circ}_f)_{\text{produk}} - \sum (n \Delta H^{\circ}_f)_{\text{reaktan}})_{453,15} \\ &= (-483986,892 \text{ J/mol}) - (-425369,6506 \text{ J/mol}) \\ &= -58617,24138 \text{ J/mol} \\ &= -58,73572299 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari perhitungan ΔH°_f reaksi bernilai negatif, maka dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan asam benzoat bersifat eksotermis.

2.2.2. Energi Gibbs

Untuk menentukan energi gibbs dapat ditinjau dari harga kesetimbangan.

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$$

dimana ΔG tiap-tiap komponen :

- $\text{C}_2\text{H}_4\text{O} = -13,1 \text{ kJ/kmol}$
- $\text{CO}_2 = -394,38 \text{ kJ/kmol}$
- $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3 = -410 \text{ kJ/kmol}$

$$\begin{aligned}
\Delta G_1 &= \sum \Delta G_{f \text{ produk}} - \sum \Delta G_{f \text{ reaktan}} \\
&= \Delta G_{f \text{ EK}} - (\Delta G_{f \text{ EO}} + \Delta G_{\text{CO}_2}) \\
&= -410 - (-13,1 - 394,38) \\
&= -2,52 \text{ kJ/kmol} \\
&= -2520 \text{ J/mol}
\end{aligned}$$

(reaksi dapat berjalan sendiri tanpa energi dari luar/ reaksi spontan)

$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ &= -RT \ln K \\
-2520 \text{ J/mol} &= - (8,314 \text{ J/mol}) \times (298,15 \text{ K}) \times (\ln K) \\
\ln K &= \Delta G^\circ / -RT \\
&= -2520 \text{ J/mol} / 8,314 \text{ J/mol}^\circ\text{K} \cdot 298 \text{ }^\circ\text{K} \\
&= 1,016613 \\
K(298) &= 2,763818
\end{aligned}$$

Pada suhu operasi $160^\circ\text{C} = 433,15 \text{ K}$

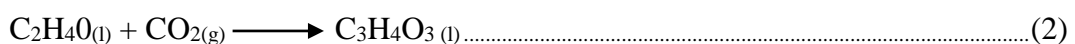
$$\begin{aligned}
\ln \frac{K}{K_0} &= -\frac{\Delta H}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \\
&= \frac{-58617,2 \text{ J/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}} \times \left(\frac{1}{433,15} - \frac{1}{298,15} \right) \\
&= 7,370144 \\
\frac{K}{K_0} &= 1587,863 \\
K &= (1587,863) \times (2,763818) \\
&= 4,4 \times 10^3
\end{aligned}$$

Harga K sebesar $4,4 \times 10^3$ (lebih dari satu), menunjukkan bahwa reaksi tersebut akan berjalan searah (*irreversible*).

2.3. Tinjauan Kinetika

Menghitung harga konstanta kecepatan reaksi (k) :

Reaksi :



Persamaan kecepatan reaksi dicari dengan teori tumbukan sebagai berikut :

$$-r_A = k \cdot C_A \cdot C_B \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan konstanta kecepatan reaksi dapat diperoleh dengan menggunakan rumus atau dapat diperoleh dari buku atau sumber penelitian seseorang. Dalam hal ini konstanta kecepatan reaksi (k) untuk reaksi pembuatan etilen karbonat diperoleh dari literatur sebagai berikut (Q.H.WU.2012):

$$k = 9,872 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{kmol}\cdot\text{menit}$$

2.4. Langkah Proses

Proses produksi etilen karbonat dapat dibagi dalam beberapa tahap, yaitu :

2.4.1. Tahap persiapan bahan baku

Bahan baku untuk pembuatan etilen karbonat terdiri dari etilen oksida dan karbon dioksida dengan menggunakan katalis trimetilamin. Tahap persiapan bahan baku dimaksudkan untuk mengkondisikan umpan sesuai dengan kondisi operasi pada reaktor. Cairan etilen oksida disimpan dalam tangki pada suhu 33°C dan tekanan 3,427 atm. Cairan katalis trimetilamin disimpan pada tangki dengan suhu 33°C dan tekanan 1 atm. Sedangkan untuk gas karbon dioksida langsung dialirkan dari pabrik Samator dengan tekanan 1 atm dan suhu 30°C.

Etilen oksida mula-mula dicampurkan dengan katalis di *mixer* dengan konsentrasi 0,2% dari berat etilen oksida dengan kondisi suhu 33°C dan tekanan 3,427 atm. Campuran etilen oksida dan katalis trimetilamin dimasukkan ke pemanas (E-101) sehingga suhunya menjadi 160°C. Kemudian larutan dipompa menggunakan pompa agar tekanannya sesuai dengan kondisi reaktor yaitu 80 atm.

Karbon dioksida yang berwujud gas dilewatkan kompresor multi stage untuk mengubah tekanan menjadi 80 atm sesuai kondisi reaktor. Setelah itu dimasukkan kedalam pemanas (E-102) sehingga suhunya menjadi 160°C.

Etilen oksida dan katalis kemudian masuk ke raktor melalui bagian atas sedangkan gas karbon dioksida masuk reaktor melalui bagian bawah.

2.4.2. Tahap reaksi

Tahap pembentukan etilen karbonat merupakan tahap inti yaitu reaksi antara etilen oksida dan gas karbon dioksida dengan menggunakan katalis trimetilamin yang berlangsung dalam reaktor gelembung dengan pendingin jaket, karena reaksi bersifat eksotermis sehingga suhu reaksi tidak keluar dari *range* yang ditentukan.

Kondisi dalam reaktor adalah *isothermal* dan *non adiabatis* pada tekanan 80 atm dan suhu 160°C.

2.4.3. Tahap pemurnian produk

Tahap ini adalah tahap untuk pemisahan produk etilen karbonat dari sisa katalis dan sisa reaktan. Produk keluar dari reaktor bagian bawah berupa cairan dengan suhu 160°C dan tekanan 80 atm, sedangkan gas karbon dioksida langsung keluar melalui reaktor bagian atas dengan melewati *expander* dan pendingin (E-103) agar dapat dibuang ke lingkungan sesuai standar CO₂ dilingkungan bebas. Produk yang keluar dari bagian bawah reaktor dilewatkan ke *expander* untuk menurunkan tekanan menjadi 3,4267 atm. Setelah itu produk dilewatkan ke pendingin (E-104) agar sesuai kondisi alat selanjutnya yaitu separator pemisah dengan suhu 70°C.

Di dalam separator pemisah adalah untuk memisahkan katalis trimetilamin dan etilen oksida dengan produk etilen karbonat. Hasil atas separator adalah etilen oksida dan katalis trimetilamin akan langsung di kondensasi menggunakan kondensor sehingga bisa langsung di *recycle* ke *mixer*. Sedangkan hasil bawah separator adalah produk etilen karbonat dengan pengotornya air dilewatkan *expander* agar produk dapat disimpan dengan tekanan lingkungan (1 atm) dan suhu 33°C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Spesifikasi Alat Utama Proses

3.1.1. Reaktor

Kode	: R-101
Fungsi	: Mereaksikan etilen oksida dengan karbon dioksida menjadi etilen karbonat dengan bantuan katalis trimetilamin
Jenis	: Reaktor Gelembung
Jumlah	: 1 buah
Material	: <i>Stainless steel SA-167</i> (tipe 316)
Kondisi Operasi	:
• Suhu	: 160°C
• Tekanan	: 80 atm
Fase reaksi	: gas-cair

Volume reaktor : 9,84 m³
 Diameter *shell* : 1,33 m
 Tinggi *shell* : 5,3191 m
 Tebal *shell* : 0,25 in
 Tebal *head* : 0,1875 in
 Tinggi Total : 5,89 m
 Lubang gas masuk (*orifice*)

- Diameter : 0,003 m
- Jumlah : 980,780 buah

Pendingin

- Tipe : Jaket
- Bahan pendingin : Air
- Diameter dalam : 1,342 m
- Diameter luar : 2,104 m
- Tinggi jaket : 5,88 m

3.1.2 Separator

Kode : H- 101
 Fungsi : Memisahkan komponen fase gas (katalis dan sedikit bahan lainnya) dan fase cair (produk) yang berasal dari *output* reaktor-01
 Tipe : *Silinder Horizontal Drum Separator*
 Bahan : *Carbon steel SA-283 grade C*
 Jumlah : 1 buah
 Kondisi operasi

- Tekanan : 3,4269 atm
- Suhu : 70°C

 Spesifikasi

- Panjang : 2,2744 m
- Diameter : 0,6428 m
- Tebal *head* : 0,1875 in

- Tebal *Shell* : 0,1875 in

3.1.3. Mixer

Kode	: M-101
Fungsi	: Mencampur etilen oksida <i>fresh feed</i> dengan katalis sebanyak 1942,1479 kg/jam
Jenis	: Tangki berpengaduk silinder tegak dengan <i>torispherical head</i>
Bahan	: <i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Kondisi Operasi	
<ul style="list-style-type: none"> • Tekanan 	: 3,4269 atm
<ul style="list-style-type: none"> • Suhu 	: 45°C
Volume	: 0,4768 m ³
Tinggi	: 4,2213 m
Diameter	: 3,050 m
Tinggi <i>shell</i>	: 3,66 m
Tebal <i>shell</i>	: 0,5 in
Tebal <i>head</i>	: 0,875 in
Tinggi <i>head</i>	: 0,2819 m
Pengaduk	
<ul style="list-style-type: none"> • Jenis 	: turbine <i>6-flat blade</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Diameter 	: 1,0160 m
<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan 	: 9,1873 rpm
<ul style="list-style-type: none"> • Daya 	: 1 Hp
<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah pengaduk 	: 1

4. PENUTUP

Pabrik etilen karbonat dari etilen oksida dan karbon dioksida digolongkan pabrik beresiko tinggi, karena kondisi operasi menggunakan tekanan dan suhu tinggi.

Hasil analisa kelayakan ekonomi adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan sebelum pajak	= Rp 114.779.598.760
Keuntungan sesudah pajak	= Rp 86.084.699.070

2. ROI (*Return On Investment*)

ROI sebelum pajak = 69,34%

ROI sesudah pajak = 52,00%

3. POT (*Pay Out Time*)

POT sebelum pajak = 1,26 tahun

POT sesudah pajak = 1,61 tahun

4. BEP (*Break Event Point*) = 41,21%

5. SDP (*Shut Down point*) = 28,49%

6. DFC (*Discounted Cash flow*) = 66,05%

Dari hasil perhitungan analisa kelayakan ekonomi maka dapat disimpulkan bahwa pabrik etilen karbonat dengan kapasitas 30.000 ton/tahun layak untuk didirikan .

DAFTAR PUSTAKA

Aries, R.S. and Newton, R.D., 1955, *Chemical Engineering Cost Estimation*, New York: Mc Graw Hill International Book Company.

Badan Pusat Statistik, 2016, *Data Ekspor Impor Etilen Karbonat di Indonesia*, www.bps.go.id, 02 Juni 2016

Brown, G.G., 1986, *Unit Operations*, New York: John wiley and Sons, Inc.

Brownell, L.E. and Young, E.H., 1959, *Process Equipment Design*, 1st edition, New York: John Wiley and Sons Inc..

Faith, Keyes and Clark, 1975, *Industrial Chemical*, 4th ed., New York: Wiley and Sons Inc.

Froment, G.F., and Bischoff, K.B., 1990, *Chemical Reactor Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons Inc.

Kern, D.Q., 1983, *Process Heat Transfer*, Tokyo: Mc Graw Hill International Book Company.

Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 2004, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th edition, New York: A Wiley Interscience Publisher Inc.

Kusmiyati, 2014, *Kinetika Reaksi Kimia dan Reaktor*, Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Mc. Ketta, J.J., and Cunningham W.A., 1998, *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, New York: Marcel Decker, Inc.
- Mujiburohman, Muhammad., 2014, *Diktat Kuliah Perancangan Alat Proses*.
- Perry, R.H. and Green, D.w., 1997, *Perry's Chemical Engineers Handbooks*, 7th edition, New York: McGraw Hill Book Co.
- Wu, H.Q., 2012, *The Chinese Journal of Process Engineering.*, China.
- Yaws, C.L., 1999, *Chemical Properties Handbook*, McGraw Hill Company, New York