



PRARANCANGAN PABRIK TRITOLYL PHOSPHATE DARI CRESOL DAN PHOSPHORIC TRICHLORIDE MENGGUNAKAN KATALIS ALUMINIUM CHLORIDE DENGAN KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN

Annisa Ayu Fitria*, Dinda Dewi Yulimasita

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

*Corresponding Author: annisayu28@gmail.com

Abstrak

Tritolyl phosphate (($C_{21}H_{21}O_4P$),TCP) merupakan bahan penting dalam industri polimer, karena berfungsi sebagai *plasticizers*, *flame retardant*, pelarut bahan selulosa asetat, pelapis kabel, *gasoline additive* dan minyak pelumas. Pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ berkapasitas 20.000 ton/tahun beroperasi selama 330 hari/tahun dan dibangun tahun 2022 di Kecamatan Cikampek, Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat. Bahan baku yang digunakan adalah cresol (C_7H_8O) dan phosphoric trichloride ($POCl_3$) menggunakan bantuan katalis aluminium chloride ($AlCl_3$).

Produksi $C_{21}H_{21}O_4P$ beroperasi pada suhu masuk 210 °C dan tekanan 3,5 atm. Reaksi berlangsung dalam reaktor tangki berpengaduk (RTB) selama 6 jam dan reaksi bersifat eksotermis (mengeluarkan panas). Produk keluaran reaktor selanjutnya dialirkan menuju *filter press* untuk memisahkan produk dari katalis. Kemudian produk yang bebas dari katalis dialirkan menuju dekanter untuk memisahkan $C_{21}H_{21}O_4P$ sebagai fase ringan dari fase beratnya. $C_{21}H_{21}O_4P$ dan C_7H_8O sebagai produk atas dekanter dialirkan menuju vaporizer untuk menguapkan C_7H_8O dan diperoleh produk $C_{21}H_{21}O_4P$ dengan kemurnian 99%.

Pemasaran $C_{21}H_{21}O_4P$ diutamakan untuk konsumsi dalam negeri. Sistem kerja karyawan sebanyak 161 orang dibagi dalam regu dan *shift*. Hasil analisa ekonomi memberikan hasil TCI sebesar Rp 982.879.887.604,51 dan diperoleh hasil penjualan Rp 4.074.878.248.409,34. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh keuntungan investasi dan waktu balik modal sebelum dan sesudah pajak sebesar 174% dan 84% serta 0,543 tahun dan 1,065 tahun. Sehingga diperoleh nilai BEP dan SDP sebesar 47% dan 40%. Berdasarkan pertimbangan hasil analisis kelayakan ekonomi, maka pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ kapasitas 20.000 ton/tahun layak dibangun.

Kata kunci: *tritolyl phosphate, cresol, phosphoric trichloride, aluminium chloride*

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. Salah satu bahan kimia yang sejak 20 tahun terakhir digunakan secara luas ialah tritolyl phosphate (TCP, ($C_{21}H_{21}O_4P$)) (Beiber, 1968). TCP berfungsi sebagai *plasticizer*, *flame retardant*, pelarut bahan selulosa asetat, pelapis kabel, *gasoline additive*, minyak pelumas, bahan additif

untuk *mineral oil* dan *synthetic hydraulic fluids* (Tabershaw, 1957 dan Beiber, 1968).

$C_{21}H_{21}O_4P$ diproduksi dengan mereaksikan cresol (C_7H_8O) dan phosphoric trochloride ($POCl_3$) (Craig, 1999). Kebutuhan bahan baku dapat dipenuhi dari PT. Anugerah Niaga Mandiri, Jakarta dan Pabrik Great Lake Chemical Industri, USA. Kebutuhan $C_{21}H_{21}O_4P$ di dalam negeri banyak diperlukan. Pabrik di Indonesia yang memerlukan $C_{21}H_{21}O_4P$ antara lain PT. Maspion dan PT. Pertamina serta industri kosmetik sebagai cat kuku. Namun Indonesia belum memiliki pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ dan masih harus mengimpor dari luar negeri. Sehingga dengan membangun pabrik



$C_{21}H_{21}O_4P$ di Indonesia dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan menjadi pemacu berdirinya pabrik dengan bahan baku $C_{21}H_{21}O_4P$ sehingga tercipta lapangan pekerjaan. Kebutuhan impor $C_{21}H_{21}O_4P$ di Indonesia pada tahun 2010 sampai dengan 2015 (comtrade.com):

Tabel 1 Kebutuhan Impor $C_{21}H_{21}O_4P$ di Indonesia

No.	Tahun	Jumlah (ton)	Pertumbuhan (%)
1	2010	172.454,003	0
2	2011	293.849,011	70,4
3	2012	355.351,739	20,9
4	2013	263.683,659	-25,9
5	2014	185.130,355	-29,8
6	2015	129.901,922	-29,8
Pertumbuhan Rata-rata			5,9

Pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ 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 $C_{21}H_{21}O_4P$ yang akan didirikan pada tahun 2022 sebesar 195.000 ton/tahun, dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, maka kapasitas yang akan didirikan sebesar 20.000 ton/tahun atau 10,3% dari kapasitas total.

Pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ direncanakan berlokasi di Kecamatan Cikampek, Kabupaten Karawang Provinsi Jawa Barat. 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 161 orang.

2. Deskripsi Proses

Proses produksi $C_{21}H_{21}O_4P$ dapat dilakukan dengan dua cara berdasarkan bahan baku yang digunakan, yaitu diproduksi dari C_7H_8O dan phosphorus pentachloride (PCl_5) serta C_7H_8O dan $POCl_3$. Perbandingan proses produksi $C_{21}H_{21}O_4P$:

Tabel 2 Perbandingan Proses Produksi $C_{21}H_{21}O_4P$

Parameter	Proses	
Bahan baku	$C_7H_8O + PCl_5$	$C_7H_8O + POCl_3$
Temperatur	80 °C	210-230 °C
Tekanan	-	3,5 atm
Konversi	85-90%	96%
Waktu reaksi	-	6 jam
Kelebihan	-	<ul style="list-style-type: none"> • Katalis $AlCl_3$ berumur panjang • Tidak membutuhkan air untuk reaksi sehingga lebih efisien • Proses banyak digunakan dalam pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> • Kebutuhan air untuk produksi yang diperlukan banyak • Reaksi lebih rumit karena ada hasil intermediet sehingga perlu penanganan lanjutan 	<ul style="list-style-type: none"> • Katalis $AlCl_3$ bersifat korosif

Berdasarkan perbandingan proses pada Tabel 2, proses yang dipilih untuk menghasilkan $C_{21}H_{21}O_4P$ adalah proses dengan menggunakan bahan baku C_7H_8O dan $POCl_3$.

$C_{21}H_{21}O_4P$ diproduksi dalam tiga proses sebagai berikut :

1. Proses Persiapan Bahan Baku

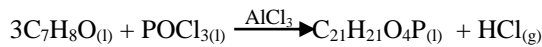
C_7H_8O (98%) dan $POCl_3$ (99%) dalam fase liquid disimpan dalam tangki penyimpanan (30 °C, 1 atm). Kemudian dipanaskan dalam *heater* hingga suhu 210 °C.

2. Proses Pembentukan Produk

Reaksi C_7H_8O dan $POCl_3$ dengan perbandingan mol 3:1 membentuk $C_{21}H_{21}O_4P$ terjadi dalam RTB. Reaksi terjadi pada suhu 210 °C hingga 230 °C dan tekanan 3,5 atm selama 6 jam dengan konversi 96%. Reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin karena reaksi berlangsung eksotermis.



Reaksi pembentukan $C_{21}H_{21}O_4P$ dibantu dengan penambahan katalis $AlCl_3$ sebanyak 2% dari berat C_7H_8O (U.S Patent 2,870,192, 1959). Reaksi yang terjadi :



Produk gas reaktor berupa HCl diturunkan tekanan dan suhunya menjadi 1 atm dan 30 °C menggunakan ekspander dan kondensor lalu disimpan dalam tangki penyimpanan. Sedangkan produk berupa campuran katalis $AlCl_3$, PCl_3 , $POCl_3$, C_6H_6O , C_7H_8O dan $C_{21}H_{21}O_4P$ dialirkan menuju *filter press* untuk memisahkan katalis $AlCl_3$.

3. Tahap Pemurnian Produk

Produk yang telah terpisah dari katalis dialirkan menuju dekanter untuk memisahkan fase ringan berupa C_7H_8O dan $C_{21}H_{21}O_4P$ dari fase berat berupa $AlCl_3$, PCl_3 , $POCl_3$ dan C_6H_6O . Fase berat merupakan produk bawah dekanter, kemudian dialirkan menuju unit pengolahan limbah (UPL). Fase ringan merupakan produk atas dekanter dinaikkan tekanan dan suhu hingga 3,3 atm dan 386,3 °C sebelum dialirkan menuju vaporizer untuk menguapkan C_7H_8O . C_7H_8O merupakan produk atas vaporizer, setelah diturunkan tekanan dan suhunya menjadi 1 atm dan 30°C lalu dialirkan menuju UPL. Produk bawah berupa liquid $C_{21}H_{21}O_4P$ diturunkan tekanan dan suhunya menjadi 1 atm dan 30°C kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan.

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)
C_7H_8O	-128,62
$POCl_3$	-558,5
$C_{21}H_{21}O_4P$	-851
HCl	-92,3

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= [\Delta H_{298} (C_{21}H_{21}O_4P) + 3\Delta H_{298} (HCl)] - \\ &\quad [3\Delta H_{298} (C_7H_8O) + 3\Delta H_{298} (POCl_3)] \\ &= [-851 + 3(-92,3)] + [3(-128,62) + (-558)] \\ &= -1.127,9 - (-944,36) \\ &= -183,54 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi pembentukan $C_{21}H_{21}O_4P$ bersifat eksotermis yang ditandai dengan ΔH_f bernilai negatif. Sedangkan untuk mengetahui reaksi berjalan secara *reversible* atau *irreversible* ditentukan dari energi Gibbs yang mempengaruhi kesetimbangan kimia dengan data dan perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999) :

Tabel 4 Daftar ΔG_{298K} Komponen

Komponen	ΔG_{298} (kJ/mol)
C_7H_8O	-37,07
$POCl_3$	-512,9
$C_{21}H_{21}O_4P$	-5.651,83
HCl	-95,3

$$\begin{aligned} \Delta G_{298} &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\ &= [\Delta G_{298} (C_{21}H_{21}O_4P) + 3\Delta G_{298} (HCl)] - \\ &\quad [3\Delta G_{298} (C_7H_8O) + 3\Delta G_{298} (POCl_3)] \\ &= [-5.651,83 + 3(-95,3)] + [3(-37,07) \\ &\quad + (-512,9)] \\ &= -5.937,73 - (-624,11) \\ &= -5.313,62 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka reaksi pembentukan $C_{21}H_{21}O_4P$ berlangsung secara spontan (*irreversible*).

Reaksi pembentukan $C_{21}H_{21}O_4P$ 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 :





$$-\ln(1-X_A) = k.t$$

$$k = \frac{-\ln(1-X_A)}{t}$$

$$k = \frac{-\ln(1-0,96)}{6}$$

$$= -\ln 0,01$$

$$= 5,0106/\text{jam}$$

maka,

$$-r_A = k.C_A$$

$$= 5,0106 \times 0,00017$$

$$= 0,0009 \text{ kmol/L.jam}$$

$$= 0,8673 \text{ kmol/m}^3.\text{jam}$$

sehingga, laju reaksi pembentukan $C_{21}H_{21}O_4P$ adalah sebesar $0,8673 \text{ kmol/m}^3.\text{jam}$.

Berdasarkan perhitungan neraca massa, komposisi masuk dan keluar reaktor tersaji dalam Tabel 5.

Tabel 5 Neraca Massa Reaktor

Komponen	Aliran Masuk (kg/jam)	Aliran Keluar (kg/jam)
AlCl ₃	45,9114	45,9114
HCl	-	743,0392
PCl ₃	5,4522	5,4522
POCl ₃	1.084,9879	43,3995
C ₆ H ₆ O	2	2
C ₇ H ₈ O	2.295,5704	91,8228
C ₂₁ H ₂₁ O ₄ P	-	2.502,2968
TOTAL	3.433,9219	3.433,9219

Daftar harga bahan baku dan produk tersaji dalam Tabel 6.

Tabel 6 Harga Bahan Baku dan Produk

Komponen	Harga (per kilogram)
AlCl ₃	Rp 4.246
HCl	Rp 15.168
POCl ₃	Rp 18.096
C ₇ H ₈ O	Rp 35.804
C ₂₁ H ₂₁ O ₄ P	Rp 201.109

Sumber : www.molbase.com
www.zauba.com
J&K Scientific

3. Utilitas

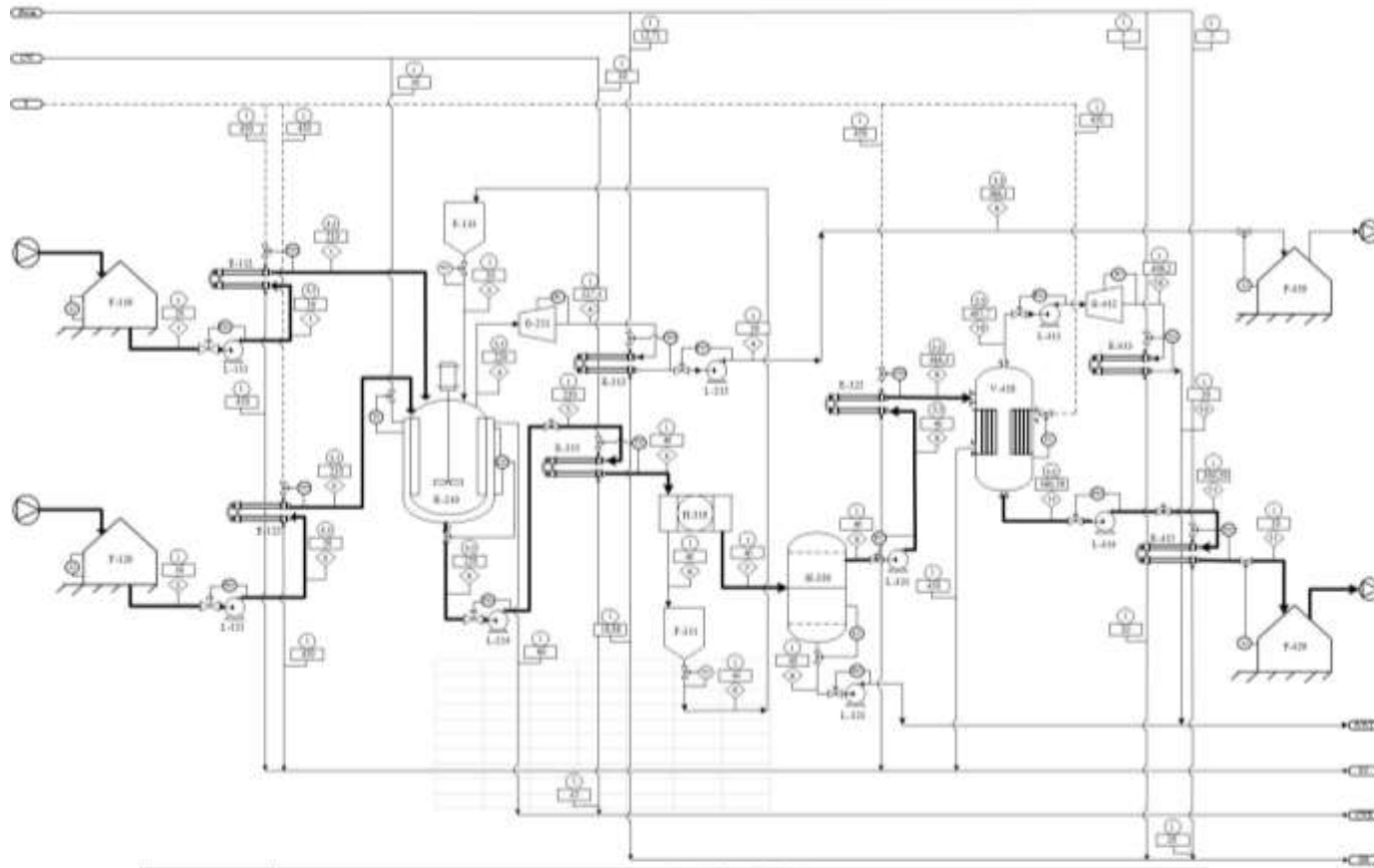
Utilitas merupakan unit penunjang dalam suatu pabrik untuk menyediakan kebutuhan *steam* dan air pendingin, listrik serta air. Sumber air untuk pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ diperoleh dari waduk Jatiluhur dengan kapasitas $60.000 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan luas sekitar 8.300 Ha .

Generator dengan bahan bakar dari PT. Pertamina menjadi sumber utama listrik pabrik dan ketersediaan listrik diatur oleh PT. Tatajabar Sejahtera. Kebutuhan rutin yang diperlukan dalam kegiatan operasi pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ tersaji dalam Tabel 7.

Tabel 7 Kebutuhan Utilitas Pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$

Kebutuhan	Jumlah (kg/jam)
Steam	989,298
Cooling water	8.276,1569
Brine water	35.320,9854
Bahan bakar	3,9138





KETERANGAN	
Aliran Proses	Aliran Primer
(AW) Air	(SD) Air
(CW) Cooling Water	(TK) Tekanan (atm)
(S) Steam	(T) Temperatur (°C)
(WWT) Waste Water Treatment	(NA) Nomor Aliran
(SC) Steam Condensat	(BR) Bahan Baku
(CR) Cooling Water Return	(PR) Produk
(TC) Temperature Controller	(PIC) Pressure Indicator Controller
(TIC) Temperature Indicator Controller	(LIC) Level Indicator Controller
(FIC) Flow Indicator Controller	(LI) Level Indicator
(WC) Weight Controller	

No	Simbol	Nama Alat	Jumlah
27	T-101	TANGKI PENYIMPANAN HCl	1
28	T-102	TANGKI PENYIMPANAN C ₂ H ₅ O	1
29	E-101	COOLER H1	1
30	L-101	POMPA PRODUK BAWAH VAPORIZER	1
31	E-102	KONDENSOR H2	1
32	T-103	TANGKI PENYIMPANAN H ₂ O	1
33	L-102	POMPA PRODUK ATAS VAPORIZER	1
34	T-104	TANGKI PENYIMPANAN H ₂ O	1
35	L-103	POMPA PRODUK BAWAH REAKTOR	1
36	L-104	POMPA PRODUK ATAS REAKTOR	1
37	R-101	REAKTOR	1
38	F-101	FILTER PRESS	1
39	F-102	FILTER PRESS	1
40	E-103	COOLER H3	1
41	L-105	POMPA REAKTOR	1
42	L-106	POMPA HCl	1
43	E-104	KONDENSOR H4	1
44	E-105	EXPANDER H1	1
45	R-102	REAKTOR TANGKI REPTI SEADAR	1
46	E-106	REV. H1	1
47	E-107	RE. H2	1
48	L-107	POMPA HCl	1
49	T-105	TANGKI PENYIMPANAN H ₂ O	1
50	E-108	RE. H3	1
51	L-108	POMPA H ₂ O	1
52	T-106	TANGKI PENYIMPANAN C ₂ H ₅ O	1
53	R-103	WAMA ALAT	Jumlah

Direktor Oleh :
 ANNYA AYU FEBRA (01011504)
 DIMA DEVI YULIAWATI (01011506)
 Diberikan Oleh :
 IBYANISY, NATA, Ph.D (075010200052100)

PROGRAM PRARANCANGAN PABRIK PABRIK TRITOLYL PHOSPHATE DARI CRESOL DAN PHOSPHORIC TRICHLORIDE MENGGUNAKAN KATALIS ALUMINIUM CHLORIDE DENGAN KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
 FAKULTAS TEKNIK
 UNIVERSITAS LAMBUNG MANGUKURAT
 BANJARBARU
 2017

Komponen	Neraca Massa (Kg/Jam)										
	Ara										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Katalis AlCl ₃	-	-	45,9114	-	45,9114	45,9114	-	-	-	-	-
HCl	-	-	-	743,6392	-	-	-	-	-	-	-
PCl ₃	-	5,4522	-	-	5,4522	-	5,4522	5,4522	-	-	-
POCl ₃	-	1084,9879	-	-	43,3995	-	43,3995	43,3995	-	-	-
C ₂ H ₅ O	2,0000	-	-	-	2,0000	-	2,0000	2,0000	-	-	-
C ₂ H ₅ O	2295,5704	-	-	-	91,8228	-	91,8228	-	91,8228	68,8671	22,9557
C ₂ H ₅ O ₂ P	-	-	-	-	2502,2968	-	2502,2968	-	2502,2968	-	2502,2968
TOTAL	2297,5704	1090,4401	45,9114	743,6392	2690,8828	45,9114	2644,9714	80,8518	2594,1196	68,8671	2828,2828

Gambar 1 Flow Diagram Process Prarancangan Pabrik Tritolyl Phosphate Dari Cresol dan Phosphoric Trichloride Menggunakan Katalis Aluminium Chloride Dengan Kapasitas 20.000 Ton/Tahun

4. Analisis Ekonomi

Pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ memerlukan modal seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Jumlah Biaya Pendirian Pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$

Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
FCI	247.771.281.116,17
TPC	3.723.237.757.560
TCI	982.879.887.604,51
WC	717.410.657.837,18

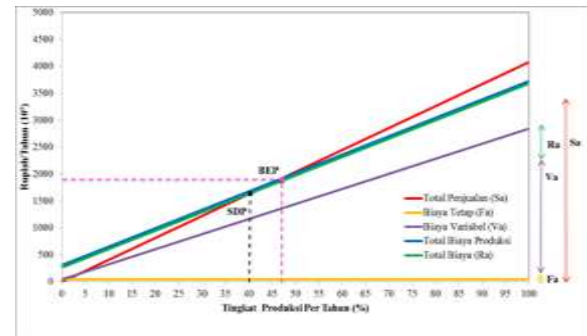
Suatu pabrik dikatakan sehat jika dapat memberikan keuntungan yang layak bagi perusahaan. Perancangan pabrik layak atau tidak untuk dibangun dapat diketahui melalui analisis ekonomi, sehingga dapat memberi gambaran keputusan untuk menjalankan proyek, menunda atau tidak menjalankannya (Prasetya at al., 2014). Beberapa faktor yang harus ditinjau dalam menganalisis 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	84%	Minimal 11%	Layak
POT	1,065 th	Maksimal 5 th	Layak
IRR	19,27%	> 12%	Layak
BEP	47%	40% - 60%	Layak
SDP	40%	20%-40%	Layak

ROI adalah perkiraan keuntungan berdasarkan kecepatan pengembalian modal setiap tahun (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 $C_{21}H_{21}O_4P$ tersaji dalam Gambar 2.



Gambar 2 Grafik SDP dan BEP Pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ Kapasitas 20.000 Ton/Tahun

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan prarancangan pabrik $C_{21}H_{21}O_4P$ dari C_7H_8O dan $POCl_3$ menggunakan katalis $AlCl_3$ dengan kapasitas 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 84%, POT 1,065 tahun, IRR 19,27%, BEP 47% dan SDP 40%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S.and Newton, R.D., 1955.*Chemical Engineering Cost Estimation*.New York: MC Graw Hill Book Company inc.
- Avantor Performance Materials, Inc. 2011. *Material safety Data Sheet Tricresyl Phosphate*. J.T. Baker. Center Valley.
- Badan Litbang Dept. PU
- Bieber, H. E., E. E. Klaus, and J. Tewksbury. 1968. *A Study of Tricresyl Phosphate as an Additive for Boundary Lubricant*. Departement of Chemical Engineering, The Pennsylvania State University. Penna.





- 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.
- Considine, Douglas M. 1985. *Instruments and Controls Handbook 3rd Edition*. USA: Mc.Graw-Hill, Inc.
- Coulson, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design Volume 6 4th Edition*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford.
- Craig, Peter H. and Mary L. Barth. 1999. *Evaluation of the Hazards of Industrial Exposure to Tricresyl Phosphate: A Review and Interpretation the Literature*. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews, 2:4.
- Culp, et. Al., 1978. *Handbook of Advanced Wastewater Treatment*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 2002. *Standar Kualitas Air Bersih*.
- Funderburg, Mick. 2014. *Plasticizers in the Polyurethane Industri*. Eastman Chemical Company. Chemical Company.
- Geankoplis, Christie J. 1997. *Transport Process and Unit Operations 3rd Edition*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey.
- Genakoplis, Christie J. 2003. *Transport Process and Unit Operations 3rd Edition*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey.
- Glover, William B. 2004. *Selecting Evaporators for Process Applications*. AIChE.
- 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.
- Kawamura, Susumu. 1991. *Integrated Design of Water Treatment Facilities*. John Willey & Sons Inc. New York.
- 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.
- Kürt P. Bonstedt, Pittsburgh. *Tricresylphosphate Process*. U.S Patent 2,870,192. Januari 20, 1959.
- Kualitas Air, 2001 PP No. 8 Tahun 2001.
- Laboratory Reagents & Fine Chemicals. 2014. *Loba Price List 2014-15*. New Delhi.
- Mc Ketta, J. J. dan Cunningham, W. A. 1983. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. Merrell Dekker. New York.
- Mc Nally Drive. 2000. *Link Electric & Safety Control Co*. Nashville.
- Michael. 2012. *Studi Pengaruh Plasticizers Diethylene Glycol Dibenzoate (DEDB) Terhadap Modulus Elastisitas Dari Produk PVC*. Skripsi Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Depok.
- OSHA Regulations. 1978. *Occupational Health Guideline for Triorthocresyl Phosphate*. US Departement of Labor. Occupational Safety and Health Administration.
- Paul, Edward L., Victor A. Atiemo-Obeng, Suzanne M. Kresta. 2004. *Industrial Mixing : Sciene & Practine*. John Wiley & Sons. New Jersey.
- Perry, Robert H. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th 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.
- Richard, M. Stephenson. 1987. *Handbook of Tremodynamics of Organic Compounds*. Elsevier Science Publishing Co Inc. New York.
- Schweiltzer, P.A., 1979. *Hanbook of Separation Technique for Chemical Engineer*. Mc Graw Hill Book Co., Inc: New York.
- Sentra Informasi Keracunan Nasional (SIKerNas). 2012. *Alumunium Klorida Anhidrat*. Pusat Informasi Obat dan Makanan, Badan POM RI.
- SIDS Initial Assesment Report. 2003. *m/p-Cresol Category*. UNEP Publications. Paris.
- Smith, J. M. H. C. Van Ness, dan M. M. Abbott. 2005. *Intoduction to Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. McGraw-Hill International. New York.





- Solvay. 2014. *Product Safety Summary Phosphorus Oxychloride*. Solvay USA Inc. USA.
- Tabershaw, I.R and Kleinfeld M. 1957. *Manufacture of Tricresyl Phosphate and Other Alkyl Phenyl Phosphate: an Industrial Hygiene Study II*. pubMed PMID: 13423916.
- Trinity manufacturing, Inc. 2015. *Safety Data Sheet*. USA.
- Trisnadi, Arifiansyah, Putra Sugili dan SuryoRantjono. 2009. *Optimasi Tawas Dan Kapur untuk Koagulasi Air Keruh dengan Penanda I-131*. Seminar Yogyakarta: Nasional V SDM Teknologi Nuklir.
- 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.
- Yaws C. L. 2003. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw-Hill Company. New York.

