

PRARANCANGAN PABRIK EPIKLOROHIDRIN DARI GLISEROL MENGUNAKAN PROSES HIDROKLORINASI DENGAN KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

Erita Hijriyati^{1,*}, Sarifah¹

¹Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat Jl. Jend. A. Yani
KM 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

*E-mail: ehijriyati@gmail.com

Abstrak

Perencanaan pabrik epiklorohidrin dengan kapasitas 60.000 ton/tahun didirikan pada tahun 2027 di Rokan Hilir, Riau dengan luas area $\pm 262.643 \text{ m}^2$. Pabrik berjalan selama 330 hari dalam setahun dengan jumlah 146 pekerja.

Pembuatan epiklorohidrin mereaksikan gliserol dan HCl pada reaktor batch 1 dengan bantuan katalis asam malonat. Reaktor 1 beroperasi pada 100°C dan tekanan 1 atm. Konversi dihasilkan adalah 99,45%. Produk reaktor 1 dialirkan menuju neutralizer 1 untuk menetralkan HCl yang berlebih. Setelah itu produk dialirkan menuju dekanter 1 untuk memisahkan komponen berdasarkan berat jenisnya. Produk atas dekanter 1 masuk ke menara distilasi 1 untuk menghilangkan air, selanjutnya dialirkan menuju menara distilasi 2 untuk memisahkan komponen yang tidak diperlukan. 1,3-DCH dialirkan ke reaktor batch 2 untuk direaksikan dengan NaOH. Reaktor 2 beroperasi pada 60°C dan tekanan 1 atm. Konversi dihasilkan adalah 82%. Produk dialirkan menuju neutralizer 2 untuk menetralkan NaOH yang berlebih. Selanjutnya dialirkan menuju dekanter 2 untuk memisahkan komponen berdasarkan berat jenisnya. Produk atas dekanter 2 dialirkan menuju Menara distilasi 3 untuk memurnikan produk epiklorohidrin hingga 98% dialirkan menuju tangki penyimpanan. Kebutuhan utilitas diambil dari sungai Rokan, Riau sebanyak 10.112.904,6450 kg/jam, sedangkan kebutuhan listrik sebesar 15.343,8621 kWh.

Analisa ekonomi didapat hasil TCI sebanyak Rp. 2.828.149.617.064,68 dengan biaya penjualan sebesar Rp. 28.126.771.041.345,12. Diperoleh ROI sebelum dan setelah pajak ialah 33% dan 21%. POT sebelum dan setelah pajak ialah 2,5 tahun dan 3,4 tahun. Sehingga, diperoleh BEP sebesar 49% dan SDP sebesar 31%. Berdasarkan hal tersebut, pabrik epiklorohidrin 60.000 ton/tahun layak dibangun.

Kata kunci : epiklorohidrin, gliserol, asam klorida, asam malonat, hidroklorinasi.

1. Pendahuluan

Indonesia ditargetkan menjadi negara maju pada tahun 2045, sehingga pemerintah membuat strategi pembangunan nasional dalam jangka menengah menuju Indonesia maju. Upaya yang dilakukan salah satunya yaitu meningkatkan pertumbuhan industri. Hal tersebut dapat mengurangi kegiatan impor dan dapat menghasilkan devisa bagi negara dengan adanya produk ekspor.

Epiklorohidrin adalah senyawa organoklorin dan epoksida. Epiklorohidrin digunakan sebagai bahan baku pembuatan resin epoksi. Resin epoksi tersebut dapat diaplikasikan pada pembuatan cat, rangkaian listrik, konstruksi, lem dan lain-lain (Bijsterbosch dkk., 1994).

Kebutuhan epiklorohidrin di dunia setiap tahunnya mengalami peningkatan (GMM, 2021). Di Indonesia belum terdapat pabrik epiklorohidrin sehingga mengharuskan impor dari luar negeri. Sehingga pendirian pabrik epiklorohidrin dilakukan untuk memenuhi kebutuhan

dalam negeri sekaligus menciptakan devisa bagi negara dan menyediakan lapangan pekerjaan.

Tabel 1.1 Data Impor Epiklorohidrin pada Indonesia (Comtrade, 2021)

Tahun	Impor (Tahun/Tahun)	Pertumbuhan (i)
2016	0,790	0,124
2017	0,572	-0,382
2018	0,739	0,227
2019	0,882	0,162
2020	0,000	0,000
2021	0,998	1,000
Rata-rata		0,188

Perkiraan kebutuhan epiklorohidrin pada tahun 2027 di Indonesia dihitung menggunakan metode *discounted* dengan rumus:

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

Dimana:

- F = Kebutuhan pada tahun pendirian
- P = Data pada tahun terakhir (ton/tahun)
- i = Rata-rata kenaikan per tahun
- n = Selisih tahun pendirian dengan data terakhir

Kapasitas pabrik epiklorohidrin yang akan didirikan pada tahun 2027 sebanyak :

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

Dimana:

- m_1 = jumlah impor pada tahun 2027 (ton/tahun)
- m_2 = jumlah kapasitas pabrik yang telah berdiri di Indonesia (ton/tahun)
- m_3 = kapasitas pabrik yang akan didirikan pada tahun 2027 (ton/tahun)
- m_4 = jumlah ekspor pada tahun 2027 (ton/tahun)
- m_5 = jumlah konsumsi pada tahun 2027 (ton/tahun)

sehingga:

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

$$m_3 = (0,053 + 3,394) - (3,341 + 0)$$

$$m_3 = 0,106 \text{ ton/tahun}$$

Peluang kapasitas pabrik yang didapat bernilai rendah, namun dilihat dari kegunaan epiklorohidrin yang banyak sehingga membuat kebutuhan epiklorohidri menjadi tinggi.

Tabel 1.2 Data Impor Epiklorohidrin pada Dunia (Statista, 2021)

Tahun	Market Volume (MT/Tahun)	Pertumbuhan (i)
2016	1.770.000	0,051
2017	1.860.000	0,048
2018	1.950.000	0,046
2019	2.050.000	0,049
2020	1.970.000	-0,040
2021	2.030.000	0,029
Rata-rata		0,031

Besar kebutuhan epiklorohidrin di dunia pada tahun 2027 sebanyak :

$$F = P (1+i)^n$$

$$F = 2.030.000 (1 + (0,031/100))^6$$

$$F = 2.033.720,100 \text{ Metric ton/Tahun}$$

Konsumsi epiklorohidrin tertinggi terdapat pada asia, khususnya di daratan Cina dan India (IHS, 2021). Hal tersebut membuat peluang ekspor yang cukup besar. Berdasarkan hasil analisa

data dan melihat persaingan global maka kapasitas pabrik epiklorohidrin yang akan dibangun pada tahun 2027 adalah 60.000 Ton/Tahun.

2. Uraian Proses

Terdapat beberapa jenis proses dalam pembuatan epiklorohidrin. Berikut adalah perbandingan jenis proses produksi epiklorohidrin yang tertera pada **Tabel 2.1** (Bijsterbosch dkk., 1994); (Tesser dkk., 2007); (Herliati dkk., 2011)

Tabel 2.1 Perbandingan Proses Pembuatan Epiklorohidrin

Parameter	Proses	
	Klorinasi (Bijsterbosch dkk., 1994)	Hidroklorinasi (Tesser dkk., 2007) (Herliati dkk., 2011)
Bahan Baku	Propilen	Gliserol
Fase	Gas	Cair
Reaksi	Reaksi 1 : 500-520°C	Reaksi 1 : 100°C
Suhu	Reaksi 2 : 30°C	(Tesser dkk., 2007)
	Reaksi 3 : 90°C	Reaksi 2 : 60°C (Herliati dkk., 2011)
Katalis	NA	Asam malonat (Tesser dkk., 2007)
Tekanan Operasi	0 – 10 atm	Tekanan atmosfer
Yield	73% (Nagato dkk., 1987)	92% (Tesser dkk., 2007)
Jenis Reaktor	Reaktor <i>batch</i>	Reaktor <i>batch</i>
Biaya (EUR per ton)	Propilen : 1000	Gliserol : 600
	Cl ₂ : 180	HCl : 261,34
	NaOH : 252,74	NaOH : 252,74

Dalam prarancangan pabrik epiklorohidrin ini dipilih pembuatan epiklorohidrin dari gliserol dengan dasar pemilihan :

1. Bahan baku relative murah.
2. Proses hidroklorinasi memiliki yield yang lebih besar
3. Prosesnya cukup ekonomis.

Terdapat beberapa tahap dalam proses pembuatan epiklorohidrin dari gliserol diantaranya :

1. Persiapan Bahan Baku

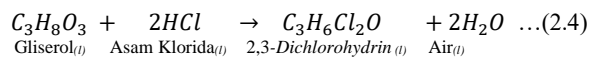
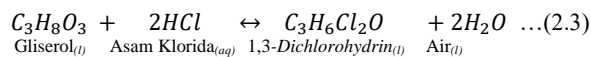
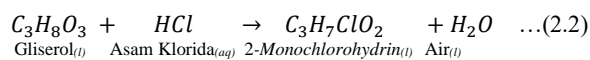
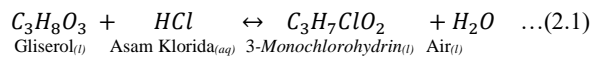
Gliserol dalam tangki penyimpanan (F-110) dialirkan menuju *heater* 1 (E-111) untuk dipanaskan dari 30°C menjadi 100°C suhu operasi pada reaktor 1 (R-210). Larutan HCl



37% dari tangki penyimpanan (F-120) langsung dialirkan menuju reaktor 1 yang akan direaksikan dengan gliserol. Katalis yang digunakan adalah asam malonat, disimpan pada gudang penyimpanan (F-130) yang dimasukkan bin katalis (F-133). Digunakan *screw conveyor* (J-131) dan *bucket elevator* (J-132) untuk penyaluran katalis dari gudang ke bin. Selanjutnya dialirkan menuju reaktor 1.

2. Tahap Pembentukan Produk *Intermediate*

Reaksi pembentukan diklorohidrin terjadi pada fase cair-cair antara gliserol dengan HCl dengan bantuan katalis asam malonat, berlangsung dalam reaktor *batch* 1 (R-210) pada temperatur 100°C, 1 atm. Reaksi berjalan selama 5 jam. Hasil konversi didapatkan 99,45%. Reaksi yang terjadi:



Produk keluaran berupa 1,3-DCH, 2,3 DCH, 3-MCH, 2-MCH, H₂O dan produk yang tidak bereaksi (gliserol, HCl dan asam malonat). Produk keluaran reaktor 1 berupa produk *intermediate* yang akan dimurnikan untuk direaksikan lagi membentuk produk utama.

3. Tahap Pemurnian Produk *Intermediate*

Produk keluaran dari reaktor 1 dialirkan terlebih dahulu ke *neutralizer* 1 (N-213) untuk menghilangkan kandungan asam klorida yang tidak bereaksi. Selanjutnya hasil dari keluaran *neutralizer* 1 dialirkan ke dekanter 1 (H-310) untuk memisahkan fase organik dan fase berair. Fase organik berupa campuran klorohidrin masuk ke dalam menara distilasi (D-314) untuk menghilangkan air yang berlebih dan lanjut dialirkan menuju menara distilasi 2 (D-320) untuk membuang zat-zat yang tidak diperlukan. Hasil keluaran menara distilasi 2 berupa produk *intermediate* yang akan langsung diumpankan ke reaktor 2 (R-215). Zat air dan zat-zat yang tidak diperlukan hasil dari pemisahan dekanter 1, menara distilasi 1 dan 2 akan dibuang menuju WTP.

4. Tahap Pembentukan Produk

Reaksi pembentukan epiklorohidrin terjadi pada fase cair-cair antara 1,3-DCH dengan NaOH 40%, berlangsung dalam reaktor *batch* 2 (R-215) pada temperatur 60°C, 1 atm. Reaksi berlangsung selama 5 jam. Hasil konversi yang didapatkan adalah 82%. Reaksi yang terjadi:

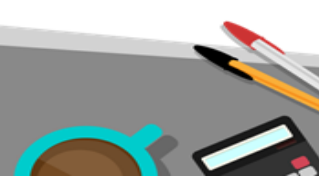


Produk keluaran berupa EPCH, NaCl, H₂O dan produk yang tidak bereaksi (1,3-DCH dan NaOH). Produk keluaran reaktor 2 akan dimurnikan.

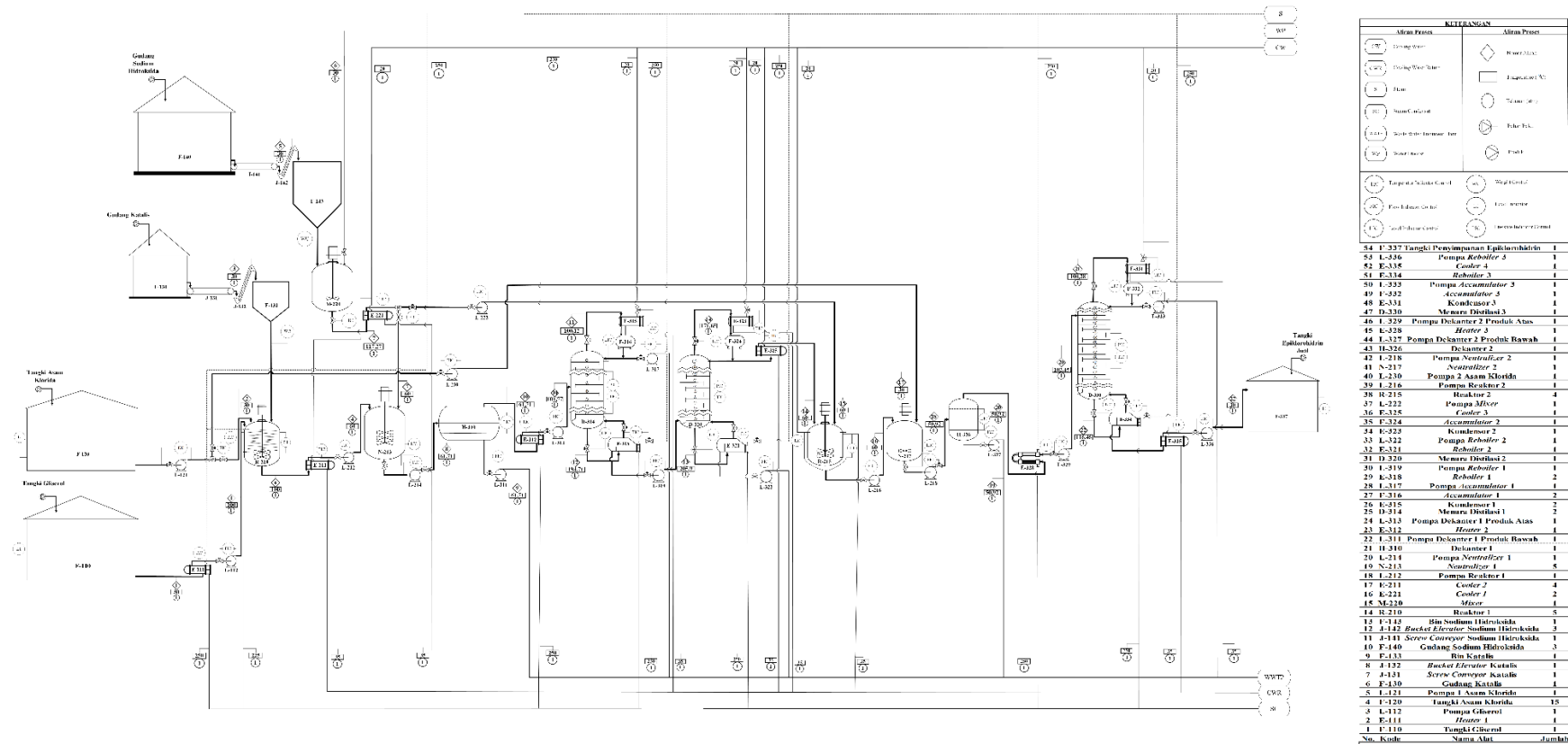
5. Tahap Pemurnian Produk

Hasil dari reaktor 2 dialirkan menuju *neutralizer* 2 (N-217) untuk menghilangkan sodium hidroksida yang tidak bereaksi. Setelah itu hasil keluaran dari *neutralizer* 2 diumpankan ke dekanter 2 (H-326) untuk memisahkan produk berdasarkan massa jenisnya. Produk utama akan dialirkan menuju menara distilasi 3 (D-330) untuk memurnikan produk epiklorohidrin. Produk dari menara distilasi 2 berupa epiklorohidrin dengan kemurnian 98% yang akan dialirkan ke dalam tangki penyimpanan produk (F-337).

Diagram alir proses prarancangan pabrik epiklorohidrin dapat dilihat pada **Gambar 1** berikut :



**DIAGRAM ALIR PROSES
PRARANCANGAN PABRIK EPIKLOROHIDRIN DARI GLISEROL
MENGUNAKAN PROSES HIDROKLORINASI DENGAN
KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN**



No.	Komposisi	Neraca Massa (Kg/Jam)																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Gliserol	43492,06	-	-	239,21	-	-	-	239,21	-	239,21	-	239,21	239,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Asam Klorida	-	313142,83	-	289376,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8597,94	-	-	-	-	-	-
3	1,3 Diklorohidrin	-	-	-	21084,96	-	-	-	21084,96	-	21084,96	105,42	20979,53	4195,91	16783,63	-	3021,05	-	3021,05	2870,00	151,05	-	151,05
4	1,3 Diklorohidrin	-	-	-	2413,79	-	-	-	2413,79	-	2413,79	-	2413,79	2413,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Sodium Hidroksida	-	-	-	327881,77	-	-	-	327881,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Epiklorohidrin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Sodium Klorida	-	-	-	-	-	-	-	463906,70	463906,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Air	439,31	533189,45	-	545368,37	-	491822,65	491822,65	1164519,13	1119804,74	44714,39	44490,82	223,57	2,24	221,34	15613,89	17756,80	9531,63	30053,62	24042,90	6010,72	6010,12	0,60
9	3 Monoklorohidrin	-	-	-	28133,77	-	-	-	28133,77	-	28133,77	-	28133,77	28133,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2 Monoklorohidrin	-	-	-	3647,06	-	-	-	3647,06	-	3647,06	-	3647,06	3645,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Asam Nitrat	-	-	3930,48	3930,48	-	-	-	3930,48	3930,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		43931,37	846331,98	3930,48	894193,84	327881,77	491822,65	819704,42	1687875,11	1587641,93	100233,18	44586,24	55636,94	38630,15	17004,96	26023,14	43028,11	15129,58	58157,68	44097,92	14059,76	6484,00	7575,76

Gambar 1. Process Flow Diagram Pabrik Epiklorohidrin

Dibuat Oleh:
ERITA HURJANTI (0801142006)
SARAH (0801420001)

Diperiksa Oleh:
PRIMAFA MARHANA, ST., M.Eng. Ph.D (0801052100042008)

PROSES PENGALIRAN DARI PRARANCANGAN PABRIK EPIKLOROHIDRIN DARI GLISEROL MENGGUNAKAN PROSES HIDROKLORINASI KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMARCA MANGREKAT
BOGOR

2022

3. Utilitas

Utilitas sangat berperan penting dalam kelancaran proses produksi. Utilitas bertujuan untuk membuat kesinambungan saat proses produksi. Utilitas pada prarancangan pabrik epiklorohidrin terdiri dari :

1. Unit Pengolahan Air
2. Unit Penyedia Uap
3. Unit Pembangkit Listrik
4. Unit Penyedia Bahan Bakar
5. Unit Pengolahan Limbah

Air pendingin yang dibutuhkan untuk pabrik epiklorohidrin adalah 7.152.528,54 kg/jam. Air pendingin disediakan 10% berlebih karena diperhitungkan faktor keamanan dan kebocoran saat pengaliran air, oleh sebab itu total air pendingin yang dibutuhkan menjadi 7.947.253,93 kg/jam, kebutuhan air umpan boiler sebanyak 1.572.417,70 kg/jam, air proses sebanyak 590.187,18 kg/jam, penyediaan uap *steam* sebesar 1.572.417,70 kg/jam dan unit listrik sebesar 12.786,55 kWh, namun diperhitungkan *power* keamanan 20% berlebih sehingga total kebutuhan listrik menjadi 15.343,86 kWh atau 180,52 kva. Listrik diambil dari Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) Duri, sebesar 112 MW dan dibackup oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) MPP Balai Pungut dengan pasokan kapasitas sebesar 75 MW.

4. Evaluasi Ekonomi

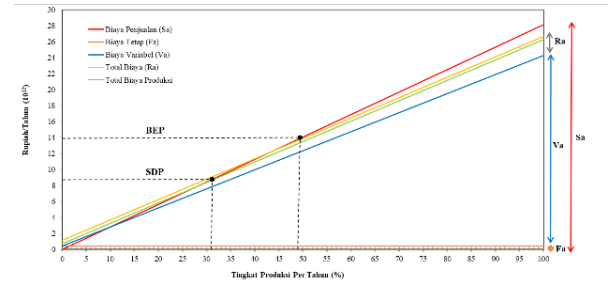
Layak atau tidaknya suatu pabrik untuk didirikan ditinjau dari evaluasi ekonomi. Hal ini ditujukan agar dapat mengetahui seberapa besar keuntungan yang diperoleh dari kapasitas produksi tertentu. Adapun hasil evaluasi ekonomi pabrik epiklorohidrin tertera pada **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4.1 Evaluasi Ekonomi Pabrik Epiklorohidrin

Analisa	Nilai	Range	Keterangan
ROI	21%	11-44%	Layak
POT	3,4 tahun	2-5 tahun	Layak
BEP	49%	40-60%	Layak
SDP	31%	20-40%	Layak

ROI ialah hasil *profit* berasal penanaman modal yang dijalankan. ROI dinyatakan dalam persentase tahunan. POT atau *Pay Out Time* adalah periode terkembalinya modal dari *profit* yang didapatkan. BEP atau *Break Even Point* ialah pabrik tak mendapat laba dan kerugian. BEP bertujuan dalam penentuan harga jual dan jumlah unit untuk mencapai keuntungan. SDP atau *Shut down point* ialah pabrik wajib diberhentikan. Hal tersebut terjadi

karena proses produksi yang dinilai tidak ekonomis. Grafik evaluasi ekonomi pabrik epiklorohidrin tertera pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 2. Grafik BEP dan SDP Pabrik Epiklorohidrin

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa teknis dan ekonomis Prarancangan Pabrik Epiklorohidrin dari gliserol menggunakan proses hidroklorinasi dengan kapasitas 60.000 Ton/Tahun dapat disimpulkan bahwa pabrik dirancang pada tahun 2027 dan didirikan di Rokan Hilir, Riau. Bentuk perusahaan adalah PT atau Perseroan Terbatas dengan struktur organisasi *line and staff*. Adapun jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 146 orang. Evaluasi ekonomi diperoleh persentase ROI sebesar 21% dan POT selama 3,4 tahun. Analisa titik BEP dan SDP berturut-turut sebesar 49% dan 31%. Dari analisa titik BEP dan SDP dapat dikatakan bahwa pabrik epiklorohidrin ini layak untuk dikaji lebih lanjut untuk dibangun.

Daftar Pustaka

- Aries, R.S. and Newton, R.D. (1955): *Chemical Engineering Cost Estimation*, Mc.Graw Hill Book Company Inc., New York.
- Bijsterbosch, J. W., Das, A. dan Kerkhof, F. P. J. M. (1994): *Clean Technology In The Production of Epichlorohydrin*. Elsevier Science Ltd. 2. 181-184
- Boubakri, H. (2020): *Induced Resistance To Biotic Stress In Plants By Natural Compounds : Possible Mechanisms*. Elsevier Inc.
- Brown, G.G., (1950): *Unit Operation*, John Willey and Sons Inc., New York.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. (1959): *Process Equipment Design*. John Willey and Sons Inc., New York.9
- Cameo. (2022a): *1-Chloro-2,3-Epoxypropane*.
- Cameo. (2022b): *1,3-Dichloro-2-Propanol*.
- Cameo. (2022c): *2-Chloro-1,3-Propanediol*.

- Cameo. (2022d): *2,3-Dichloro-1-Propanol*.
- Cameo. (2022f): *Glycerine*.
- Cameo. (2022g): *Glycerol Alpha-Monochlorohydrin*.
- Cameo. (2022h): *Hydrochloric Acid*.
- Cameo. (2022i): *Sodium Chlorate*.
- Cameo. (2022j): *Sodium Hydroxide*.
- Cameo. (2022k): *Water*.
- CCR. (2017): *China's Epichlorohydrin Market*. China's Epichlorohydrin Market - China Reports - 中国化工报导网 (ccr.com.cn)
- Chemeo. (2016): *Chemical Properties of 1,2-Propanediol, 3-chloro-*.
- Comtrade, U. (2021): <https://comtrade.un.org/data/>
- Coulson, J. M. and Richardson, J. F., (2005): *Chemical Engineering*, 4th Ed. Pergamon Press, Oxford.
- Dogra, S. (1990): *Kimia Fisika dan Soal-Soal*. UI Press. Jakarta
- Ethermo. (2009): *Hexanoic Acid Thermodynamic & Transport Properties*. <http://www.ethermo.us/mars1395.htm>
- Geankoplis, C.J., (1993): *Transport Processes and Unit Operation*, 3rd ed, Prentice Hall Inc., New York.
- Geankoplis, C.J., (1997): *Transport Processes and Unit Operation*, 4th ed, Prentice Hall Inc., New York.
- GMM. (2021): *Global Epichlorohydrin Market Professional Research Report 2014-2026, Segmented by Players, Types, End-Users in Major 40 Countries or Regions* (globalmarketmonitor.com)
- Heide, R. F. (2018): *The Production of Epichlorohydrin From Glycerol*. *Bachelor Faculty of Science and Engineering*. University of Groningen. Groningen
- Herliati, R. Y., Intan, A. S. dan Abidin, Z. Z. (2011): Preliminary Design of Semi-Batch Reactor for Synthesis 1,3-Dichloro-2-Propanol Using Aspen Plus. *International Journal of Chemistry* 3. 196-201
- Hesse, H.C., (1945): *Process Equipment Design*, D. Van Nostrand Company, Inc., New Jersey.
- Hirakawa, B. (2014): Epichlorohydrin. *Encyclopedia Of Toxicology*. 2.
- ICIS. (2022): *Epichlorohydrin Company*. <https://www.icis.com/resources/news/epichlorohydrin>
- IHS, M. (2021): *Epichlorohydrin*. Epichlorohydrin - Chemical Economics Handbook (CEH) | IHS Markit
- Kern, D.Q., (1965): *Process Heat Transfer*, Mc.Graw Hill Book Company Inc., New York.
- McCabe, W.L., dkk., (1986): *Unit Operation of Chemical Engineering*, 5th Ed., Mc.Graw Hill Book Company Inc., Singapore.
- McMillan, G.K dan Chonsidine, D.M. (1999): *Process Industrial Instruments And Controls Handbook*, 5th Ed. McGraw Hill Education. New York.
- Missen, Ronald W., Mims, Charles A., dan Saville, Bradley A. (1999): *Introduction To Chemical Reaction Engineering And Kinetics*. University of Toronto. Toronto
- Nagato, N., Mori, H., Maki, K. dan Ishinoka, R. (1987): *Process For Production Of Epichlorohydrin*. Showa Denko Kabushiki Kaisha, Japan. United States
- NTP (2005): Toxicological Summary for 1,3-Dichloro-2-propanol. *Integrated Laboratory Systems, Inc*
- OxyChem (2018): *Hydrochloric Acid Handbook*. Occidental Chemical Corporation. Dallas
- Perry, R. H., Green, D. W. dan Maloney, J. O. (1997): *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7^{ed}. McGraw-Hill. New York
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. (1991): *Plant Design and Economics For Chemical Engineers*. 4. McGraw-Hill. New York
- Quispe, C. A. G., Coronado, C. J. R. dan Jr., J. A. C. (2013): Glycerol : Production, Consumption, Prices, Characterization and New Trends In Combustion. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*. 27. 475-493
- Smith, J.M., and Van Ness, H.C. (2005): *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 7rd Ed. Mc. Graw Hill, New York.
- Statista. (2021): <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-hydroxide#section=Structures>
- Tesser, R., Santacesaria, E., Serio, M. D., Nuzzi, G. D. dan Fiandra, V. (2007): Kinetics of Glycerol Chlorination with Hydrochloric Acid : A New Route to α,γ -Dichlorohydrin. *Ind. Eng. Chem. Res.* 46.
- Treyball, R.E. (1968): *"Mass Transfer Operations"*, 2nd Ed. Mc. Graw Hill, International Student Edition, Singapore.
- Ulrich, G.D. (1984): *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*, John Wiley and Sons, New York.





Walas, S.M. (1990): *Chemical Process Equipment (Selection and Design)*, Butterworth-Heineman, USA.

Yaws, Carl. L., (1999): *Chemical Properties Handbook*, Mc Graw Hill, New York.

