

**PRA RANCANGAN PABRIK EPIKLOOROHIDRIN DARI
DIKLOOROHIDRIN DAN NATRIUM HIDROKSIDA KAPASITAS 16.000
TON/TAHUN
(Perancangan Menara Distilasi (MD-301))**

(Skripsi)

**Oleh:
DELIANA SARI SORMIN
(1855041002)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

**PRA PABRIK EPIKLOROHIDRIN DARI DIKLOROHIDRIN DAN
NATRIUM HIDROKSIDA KAPASITAS 16.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Menara Distilasi (MD-301))**

Oleh
DELIANA SARI SORMIN
1855041002

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR
LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK EPIKLOROHIDRIN DARI DIKLOROHIDRIN DAN NATRIUM HIDROKSIDA KAPASITAS 16.000 TON/TAHUN (Perancangan Menara Distilasi (MD-301))

Oleh
DELIANA SARI SORMIN

Prarancangan pabrik epiklorohidrin dari diklorohidrin dan natrium hidroksida dengan kapasitas 16.000 ton/tahun akan didirikan di Kawasan Industri Cilegon, Banten diatas tanah seluas 20.540 m². Epiklorohidrin dalam industri kimia digunakan untuk memproduksi resin epoksi, sintetis gliserin, surfaktan, elastomer dan lain-lain. Bahan baku berupa diklorohidrin sebanyak 3.145,80 kg/jam diperoleh dari PT. Jinan Finer Chemical.Co.,Ltd, Cina dan natrium hidroksida sebanyak 934,13 kg/jam diperoleh dari PT. Asahimas Chemical Cilegon.

Jumlah karyawan sebanyak 126 orang dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff*. Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp 562.168.439.812
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp 99.206.195.261
<i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= Rp 661.374.635.073
<i>Break Even Point</i> (BEP)	= 54%
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 38%
<i>Pay Out Time after Taxes</i> (POT) _a	= 2,57 tahun
<i>Return on Investment after Taxes</i> (ROI) _a	= 24 %
<i>Discounted cash flow</i>	= 33,29%

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik *epichlorohydrin* ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

ABSTRACT

PRE DESIGN OF EPICHLOROHYDRIN PLANT FROM DICHLOROHYDRIN AND SODIUM HYDROXIDE CAPACITY 16,000 TON/YEAR (Design Distillation Columns (MD-301))

By

DELIANA SARI SORMIN

Pre-design of an epichlorohydrin factory from dichlorohydrin and sodium hydroxide with a capacity of 16,000 tonnes/year will be established in the Cilegon Industrial Area, Banten on a land area of 20,540 m². Epichlorohydrin in the chemical industry is used to produce epoxy resins, synthetic glycerin, surfactants, elastomers and others. The raw material in the form of dichlorohydrin amounting to 3,145.80 kg/hour was obtained from PT. Jinan Finer Chemical.Co., Ltd, China and 934.13 kg/hour of sodium hydroxide obtained from PT. Asahimas Kimia Cilegon.

The number of employees is 126 people with the company form being a Limited Liability Company (PT) using a line and staff organizational structure. From the economic analysis it is obtained:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	= Rp 562.168.439.812
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	= Rp 99.206.195.261
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	= Rp 661.374.635.073
<i>Break Even Point (BEP)</i>	= 54%
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	= 38%
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)_a</i>	= 2,57 tahun
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)_a</i>	= 24 %
<i>Discounted cash flow</i>	= 33,29%

Considering the explanation above, it is appropriate to study the establishment of this epichlorohydrin factory further, because it is a profitable factory and has a good prospect.

Judul Skripsi

**: PRARANCANGAN PABRIK EPIKLOOROHIDRIN
DARI DIKLOOROHIDRIN DAN NATRIUM
HIDROKSIDA KAPASITAS 16.000 TON/TAHUN
(Perancangan Menara Distilasi (MD-301))**

Nama Mahasiswa

: Defiana Sari Sormin

No. Pokok Mahasiswa

: 1855041002

Program Studi

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng.

NIP. 197904192006042001

Muhammad Haviz, S.T., M.T.

NIP. 199001282019031015

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Yuli Darni, S.T., M.T.

NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng.

Sekretaris

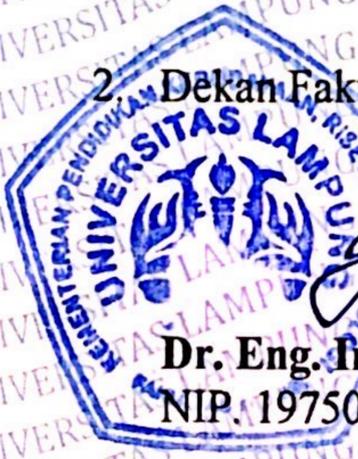
Muhammad Haviz, S.T., M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing : Simparmin Br. Ginting, S.T., M.T.

Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S. T., M. Sc. }

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Januari 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Februari 2024

Deliana Sari Sormin

NPM. 1855041002

RIWAYAT HIDUP



Deliana Sari Sormin, penulis laporan ini dilahirkan di Gedung Ram pada tanggal 03 November 2000, putri kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Jasinaungan Sormin dan Ibu Masnim.

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 1 Gedung Ram pada tahun 2012, pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Tanjung Raya pada tahun 2015 dan pendidikan sekolah menengah atas di MAN 1 Bandar Lampung pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri Barat (SMMPTN-Barat). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staf Departemen Dana dan Usaha Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2019 dan 2020.

Pada tahun 2021, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Brasan Makmur, Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Mesuji dan melakukan Kerja Praktik (KP) di PT Buma Cima Nusantara PG Bungamayang Kotabumi dengan Tugas Khusus “Menghitung Efektivitas Juice Heater di Stasiun Diffuser dan Mill PT. Buma Cima Nusantara Unit Bungamayang”. Pada tahun 2021, penulis melakukan penelitian dengan judul “Hidrolisis Pati Kentang Menggunakan Enzim Glukoamilase Amobil Pada Silika MCF-BBA (Mesostuctured Cellular Foam - Baggase Buttom Ash)” di Laboratorium Mikrobiologi Teknik, Teknik Kimia Universitas Lampung.

Motto dan Persembahan

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan,
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah (94): 5-6)

“Belajarlah karena Allah, maka Allah yang akan memberikan
kesempurnaan pengetahuan kepada kita”

(Ustadz Dr. H. Adi Hidayat, Lc., M.A.)

“Apapun masalahnya, Bagaimanapun buruknya keadaan,
berhenti bukanlah jalan keluar tetaplah bergerak untuk
hidup yang seimbang”

(Deliana Sari Sormin)

Sebuah KaryaKu....

Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:

Allah SWT

*Karena kehendak-Nya, semua ini dapat ku peroleh.
Atas berkah dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan karya kecil ini.
Atas karunia dan anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama ini.*

*Almarhum Bapak dan Mamaku,
terima kasih atas segalanya, doa, kasih sayang, pengorbanan dan
keikhlasannya. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa
dibandingkan dengan pengorbanan dan kasih sayang kalian selama
ini. Terimakasih atas segalanya.*

*Kakak-ku, Rahma Diani Sormin, terimakasih atas dukungan, doa dan
keceriannya selama ini.*

*Sahabat-sahabatku,
terimakasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya
selama ini.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini baik itu berupa
ilmu keteknikkimiaan maupun ilmu kehidupan yang tentunya sangat
berguna dan bermanfaat.*

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,
semoga kelak berguna dikemudian hari.*

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “
pra rancangan pabrik epiklorohidrin dari diklorohidrin dan natrium hidroksida kapasitas 16.000 ton/tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga tercinta, Almarhum Bapak, Mamah atas doa, dukungan, kepercayaan, ketulusan dan semangat yang telah diberikan serta cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap saat.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Ibu Simparmin Br.Ginting, S.T., M.T. selaku Dosen Peguji I dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II dan Pembimbing Kerja Praktik yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.

8. Rizkiyaa Oktavia, teman seperjuangan se-tekkim, Terimakasih karena sudah membantu dan terus berjuang hingga titik darah penghabisan untuk meraih gelar S.T. ini. Semoga kita menjadi orang yang sukses di jalannya masing-masing dan bermanfaat bagi banyak orang.
9. Teman-teman Gerakan perubahan, Febrina Uli Lubis, S.T., Elizantika,S.T., Dormian Pakpahan, S.T., Indah Alya Khoirunnisa, S.T., Enda Pepayosa, S.T.
10. Teman-teman Angkatan 2018, adik-adik dan kakak tingkat yang telah memberikan warna-warni kehidupan dunia kampus dan segala bantuan kepada penulis.
11. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, 15 Februari 2024
Penulis,

Deliana Sari Sormin

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara berkembang sedang melakukan upaya peningkatan di segala sektor, termasuk sektor perindustrian. Industri kimia memegang peran penting dalam perkembangan dan kemajuan negara dengan kebutuhan produk kimia masih belum seluruhnya dapat dihasilkan sendiri. Kebutuhan produk tersebut masih dilakukan dengan mengimpor dari berbagai negara untuk memenuhinya, terutama bahan – bahan yang dapat diproses lebih lanjut menjadi bahan yang lebih bermanfaat dalam kehidupan sehari – hari.

Epiklorohidrin dengan rumus kimia C_3H_5ClO merupakan bahan kimia yang digunakan dalam memproduksi produk kimia, otomotif, dan elektronik. Di industri kimia biasanya epiklorohidrin digunakan untuk memproduksi resin epoksi, resin-resin poli amida dan juga berfungsi sebagai *stabilizer* pada senyawa yang mengandung klorin seperti pestisida, karet dan solven (Bijsterbosch *et al.*, 1994). Epiklorohidrin di industri kimia juga dapat digunakan untuk memproduksi resin epoksi, gliserin sintesis, surfaktan, *elastomer* dan lain-lain. Sedangkan dalam industri otomotif dan elektronik, epiklorohidrin banyak digunakan pada proses painting and coating (Suci, 2019). Berdasarkan data dari *Grand View Research* (2017) pada tahun 2030 kebutuhan epiklorohidrin dunia diperkirakan akan mengalami tingkat pertumbuhan tahunan sebesar 5,4% hingga mencapai USD 4,40 miliar. Meningkatnya penggunaan resin berbasis epiklorohidrin dalam tekstil, meningkatnya penggunaan bahan baku berbasis bio, dan meningkatnya permintaan

cat dan pelapis di sektor konstruksi adalah beberapa faktor utama yang mendorong pertumbuhan pasar epiklorohidrin dunia. Proses *finishing* di industri tekstil saat ini telah menggunakan resin sintetik untuk membuat kain yang tidak mudah kusut dan anti serangga. Pada saat ini belum terdapat pabrik epiklorohidrin di Indonesia, sehingga kebutuhan epiklorohidrin di Indonesia dipenuhi dengan impor dari berbagai negara. Pendirian pabrik epiklorohidrin di Indonesia dapat mengurangi kebutuhan impor epiklorohidrin serta dapat membantu mengurangi pengeluaran devisa negara untuk mengimpor bahan tersebut. Pendirian pabrik ini juga dapat mengurangi angka pengangguran dan tingkat kemiskinan dengan adanya lapangan pekerjaan baru. Pabrik ini juga diharapkan dapat memenuhi kebutuhan epiklorohidrin dalam negeri dan akan meningkatkan perekonomian negara.

1.2 Kegunaan Produk

Epiklorohidrin atau EPCH memiliki banyak manfaat di bidang industri. Beberapa kegunaan epiklorohidrin dalam berbagai aplikasi:

1. Resin epoksi

Bisphenol A Epoxy Resin merupakan resin yang diproduksi dengan reaksi kondensasi antara epiklorohidrin dan fenol. Digunakan untuk menggabungkan struktur epoksi dasar dengan bahan yang mengandung hidrogen aktif, seperti aldehida, poliamida, dan poliamina. Dan dapat juga digunakan sebagai pengikatan silang dengan bahan pengawet amina atau asam.

2. Industri Tekstil

Dalam industri tekstil epiklorohidrin digunakan untuk memodifikasi gugus karboksil wol. Produk yang dihasilkan memiliki daya tahan yang lama serta baik terhadap serangga dan jamur. Turunan epiklorohidrin dalam industri tekstil digunakan sebagai *emulsifying*, *washing agent*, *softening*, dan *dispersing*.

3. Industri kertas

Digunakan sebagai *humectant*, *flocculant*, dan *anti-static agent*.

4. *Ion-Exchanger Resins*

Epiklorohidrin digunakan untuk menghasilkan resin penukar anion dan kation. Epiklorohidrin sebagai resin penukar anion dapat memurnikan air minum dan membersihkan udara yang tercemar.

5. *Surface Active Agent*

Surface active agent berbasis epiklorohidrin disintesis dengan mengkondensasi epiklorohidrin dengan poliamina ditambah asam lemak. Produk ini digunakan dalam kosmetik, sampo, detergen, *water softeners*, dan *demulsifiers*.

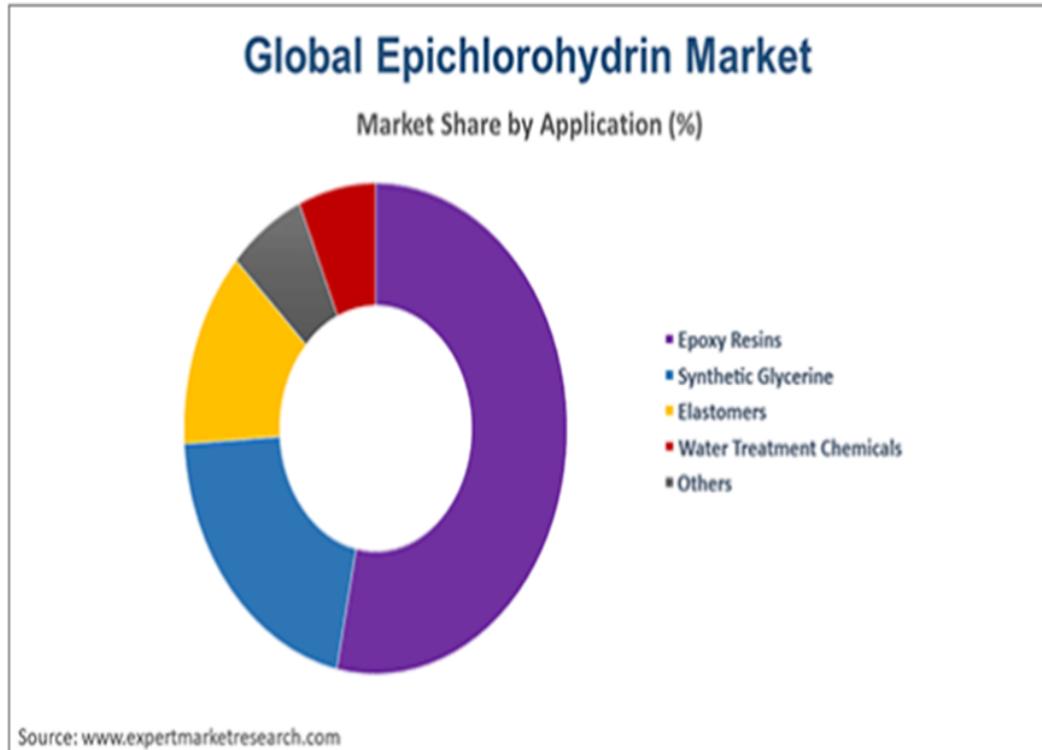
6. *Plasticizer*

Epiklorohidrin jika direaksikan dengan alkohol, alkoholat, atau garam natrium dari stearat, oleat, palmitat, miristat, dan asam lemak lainnya akan menghasilkan produk yang digunakan sebagai *plasticizer* polimer vinil dan *plasticizer* untuk poliuretan.

7. Produk Pertanian

Dengan mereaksikan epiklorohidrin dengan alkohol atau garam natrium dari alkilfenol akan menghasilkan produk pestisida, bakterisida, dan fungisida.

Gambar 1.1 Persentase Kegunaan Epiklorohidrin di Industri



<https://www.expertmarketresearch.com/reports/epichlorohydrin-market>

Aplikasi terbesar epiklorohidrin adalah sebagai bahan baku resin epoksi. Resin epoksi yang dihasilkan dari epiklorohidrin digunakan di berbagai industri termasuk perekat, pelapis, dan plastik. Sedangkan gliserin sintetik digunakan secara kuat di industri kosmetik dan di industri insektisida komersial, farmasi, pelarut, tekstil, dan sektor kertas.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku dari pabrik epiklorohidrin yang akan didirikan adalah diklorohidrin ($C_3H_6Cl_2O$) dan natrium hidroksida (NaOH). Perusahaan yang menghasilkan diklorohidrin ($C_3H_6Cl_2O$) dan natrium hidroksida (NaOH) dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Ketersediaan Bahan Baku

Bahan Baku	Kebutuhan Bahan Baku (Ton/Tahun)	Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)
Diklorohidrin	24.914	PT. Jinan Finer Chemical.Co.,Ltd, China	150.000
		Solvay Company, Jepang	110.000
NaOH	7.398	PT. Asahimas Chemical, Cilegon	700.000
		PT. Pindo Deli, Karawang.	65.000

Berdasarkan Tabel 1.1 kedua perusahaan tersebut memiliki kapasitas yang dapat memenuhi kebutuhan bahan baku yang di butuhkan untuk mendirikan pabrik epiklorohidrin dengan kapasitas produksi 16.000 ton/tahun sehingga keberlangsungan bahan baku tersebut dapat terpenuhi.

1.4 Analisis Pasar

Analisis pasar dilakukan untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap kebutuhan suatu produk. Kebutuhan pasar suatu produk dapat dianalisis menggunakan beberapa aspek, salah satunya adalah analisis sistem perekonomian terbuka yang meliputi ekspor dan impor produk (Sugiarto, 2000). Kebutuhan impor epiklorohidrin di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan selama 5 tahun

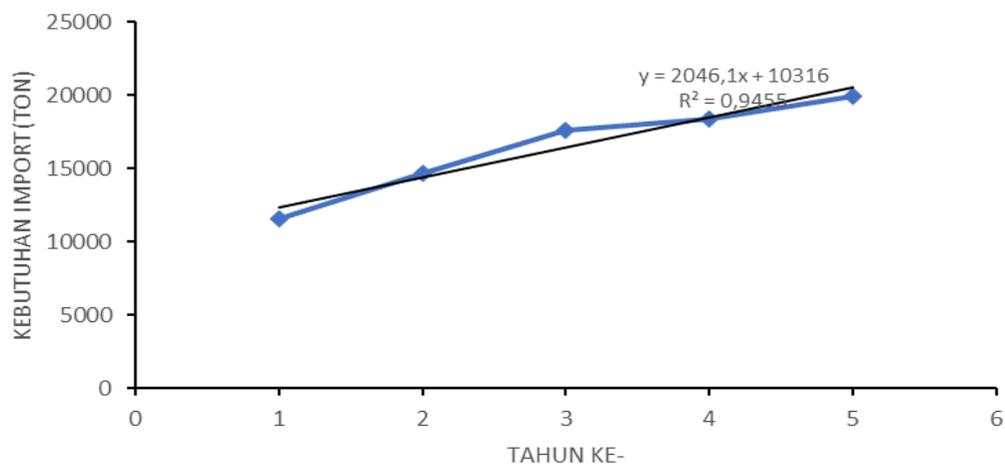
terakhir. Kebutuhan impor epiklorohidrin di Indonesia dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 1.2 Perkembangan Impor Epiklorohidrin di Indonesia

No	Tahun	Import (Ton)
1	2017	11593.1
2	2018	14675.64
3	2019	17632.78
4	2020	18418.52
5	2021	19952.2

(Sumber : UN Comtrade, 2017-2021)

Berdasarkan data pada Tabel 1.2 maka dapat dibuat regresi linier yang menyatakan hubungan antara tahun dengan jumlah impor epiklorohidrin di Indonesia pada tahun 2017-2021.



Gambar 1.2 Grafik Impor Epiklorohidrin di Indonesia

Pada Gambar 1.1., sumbu x merupakan tahun ke-n

Tahun 2017 = tahun ke-1

Tahun 2018 = tahun ke-2

Tahun 2019 = tahun ke-3

Tahun 2020 = tahun ke-4

Tahun 2021 = tahun ke-5

Untuk memprediksikan kebutuhan impor epiklorohidrin di Indonesia tahun berikutnya dapat diperhitungkan dengan menggunakan metode regresi linier:

$$y = ax + b$$

Keterangan:

y = kebutuhan impor epiklorohidrin (ton/tahun)

x = tahun ke-n

b = *intercept*

a = gradien garis miring

sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y = 2046,1x + 10316$$

Pabrik ini direncanakan akan berdiri pada tahun 2027, dimana tahun tersebut sama dengan tahun ke- 11. Kebutuhan epiklorohidrin di Indonesia pada tahun tersebut diperkirakan dengan mensubstitusikan harga tahun (x) = 11 ke persamaan diatas, maka diketahui bahwa kebutuhan impor epiklorohidrin di Indonesia adalah:

$$y = 2046,1 (11) + 10316$$

$$y = 32.823 \text{ (Ton)}$$

Melalui perhitungan persamaan garis lurus yang terdapat pada Gambar 1.1 maka didapatkan prediksi impor epiklorohidrin di Indonesia pada tahun 2027 sebesar 32.823 ton/tahun.

1.5 Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan berdasarkan data impor produk di dalam negeri yang belum terpenuhi, selain itu dalam menentukan kapasitas produksi epiklorohidrin juga dapat dilihat dari kapasitas pabrik yang sudah ada di luar negeri sebagai pertimbangannya. Hal tersebut dikarenakan pabrik yang sudah berdiri telah memiliki analisis ekonomi yang memberikan keuntungan sesuai dengan kapasitas produksi yang dihasilkan. Beberapa pabrik epiklorohidrin telah berdiri di luar negeri adalah Thai Organics di Rayong, Thailand dengan kapasitas produksi 10.000 ton/tahun, Sumitomo di Niihara, Jepang dengan kapasitas produksi 15.000 ton/tahun, dan Solvay di Rheinberg, Jerman dengan kapasitas produksi 50.000 ton/tahun.

Di Indonesia sendiri belum terdapat pabrik epiklorohidrin, maka data kebutuhan epiklorohidrin di Indonesia dapat diambil dari impor kebutuhan produk tersebut. Dengan perhitungan persamaan garis lurus data impor epiklorohidrin pada tahun 2027 didapatkan sebesar 32.823 ton/tahun.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan impor epiklorohidrin di Indonesia dan kapasitas pabrik epiklorohidrin di luar negeri yang sudah berdiri, maka kapasitas pabrik epiklorohidrin pada tahun 2027 direncanakan sebesar 50% (merujuk pada UU No. 5 Tahun 1999 tentang larangan praktik monopoli perdagangan) dari kebutuhan epiklorohidrin adalah sebesar 16.000 ton/tahun. Kapasitas pabrik epiklorohidrin yang sudah beroperasi memiliki kapasitas 10.000 - 380.000 ton/tahun, dengan demikian kapasitas pabrik 16.000 ton/tahun layak untuk didirikan.

1.6 Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam mendirikan sebuah pabrik, lokasi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan. Lokasi pabrik yang tepat dapat menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta keuntungan yang diperoleh maksimal. Bahan baku NaOH didapatkan dari PT. Asahimas Chemical di Cilegon dan PT. Pindo Deli di Karawang, dimana pabrik penyuplai bahan baku tersebut berada di Cilegon dan

Karawang. Aplikasi terbesar epiklorohidrin adalah sebagai bahan baku resin epoksi yang sebagian besar terletak di Cilegon dan Karawang, oleh karena itu lokasi pabrik yang akan dipertimbangkan dalam mendirikan pabrik EPCH yaitu Cilegon dan Karawang. Berikut merupakan beberapa faktor dalam pemilihan lokasi pabrik:

Tabel 1. 3 Kriteria Pemilihan Lokasi Pabrik

Kriteria	Lokasi	
	Cilegon	Karawang
Bahan baku	Diklorohidrin dari PT. Jinan Finer Chemical.Co., Ltd. di Cina dan NaOH dari PT. Asahimas Chemical	Diklorohidrin dari PT. Jinan Finer Chemical.Co., Ltd. di Cina dan NaOH dari PT. Pindo Deli
Transportasi	Pelabuhan dan transportasi darat	Pelabuhan dan transportasi darat
Sumber Air	Sumber air dari Sungai Cidanau dan Waduk Krenceng	Sumber air dari Sungai Citarum
Pemasaran	Industri elastomer, karet, tekstil, detergen, dan resin epoxy	Industri elastomer, tekstil, dan detergen
UMR	Rp4.657.222 /bulan	Rp5.176.179/bulan

Berdasarkan Tabel 1.3 tentang kriteria pemilihan lokasi pabrik dapat dijelaskan lebih lanjut tentang faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik, antara lain sebagai berikut:

a. Lokasi Penyediaan Bahan Baku

Lokasi pabrik yang dekat dengan sumber bahan baku akan memudahkan proses produksi dan meminimalkan biaya transportasi. Bahan baku yang dibutuhkan berupa diklorohidrin yang diperoleh dengan cara mengimpor dari PT. Jinan Finer Chemical.Co., Ltd. di Cina melewati jalur laut. Sementara itu, kebutuhan NaOH dapat diperoleh dari PT. Asahimas Chemical di Cilegon dan PT. Pindo Deli di Karawang. Berdasarkan lokasi penyediaan bahan baku Cilegon dan Karawang memiliki potensi yang sama karena baik Cilegon maupun Karawang memiliki jarak yang dekat ke pelabuhan Tanjung Priok yang merupakan tempat arus keluar dan masuk impor ekspor dan dekat dengan lokasi industri yang menyuplai NaOH.

b. Daerah Pemasaran

Lokasi pabrik yang dipilih harus dekat dengan daerah pemasaran atau dekat dengan konsumen hal ini dilakukan untuk menghemat biaya distribusi serta mempermudah pemasaran produk yang dihasilkan. Epiklorohidrin digunakan pada industri elastomer dan resin epoksi tersebut banyak berdiri di Cilegon dan Karawang. Industri resin yang berada di kota Cilegon adalah PT. Dover Chemical dan PT Chandra Asri Petrochemical dan PT. Hade Sejati Pratama di Karawang, adapun industri elastomer antara lain PT. Synthetic Rubber Indonesia di Cilegon dan PT. Sumi Rubber Indonesia di Karawang. Dari dua lokasi tersebut Cilegon lebih unggul dari Karawang, karena penggunaan terbesar epiklorohidrin pada industri resin yang banyak terdapat di Cilegon.

c. Sumber Air

Pemilihan lokasi harus dekat dengan sumber air dimana dalam suatu pabrik air digunakan sebagai air pendingin, air proses, serta untuk kebutuhan sehari-hari bagi karyawan dan masyarakat. Kebutuhan air tersebut berasal dari Sungai Cidanau dan Waduk Krenceng di Cilegon dan Sungai Citarum di Karawang. Kedua lokasi tersebut memiliki sumber air yang memadai untuk kebutuhan industri.

d. Sarana Transportasi

Transportasi sangat dibutuhkan sebagai sarana penunjang untuk penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Pemilihan lokasi berdirinya pabrik sebaiknya letaknya sedekat mungkin dengan kawasan industri yang terdapat transportasi yang lancar baik darat dan laut, sehingga arus dari bahan baku impor lebih mudah dan lancar serta transportasi darat yang memiliki infrastruktur yang cukup baik. Keadaan tersebut dapat mempermudah pemasaran produk. Cilegon dan Karawang merupakan kawasan industri yang dekat dengan jalan raya yang dapat dilalui oleh kendaraan bermuatan besar sehingga pengiriman bahan baku dan pendistribusian produk lebih mudah.

Berdasarkan faktor-faktor diatas, dapat disimpulkan bahwa kedua daerah memiliki potensi yang sama untuk didirikannya pabrik. Namun dilihat dari daerah pemasaran kota Cilegon lebih unggul karena aplikasi terbesar epiklorohidrin adalah sebagai bahan baku resin epoksi dimana di kota Cilegon terdapat banyak industri resin epoksi serta upah minimum regional (UMR) kota Cilegon lebih rendah. Maka dari beberapa faktor pemilihan lokasi Cilegon merupakan kota yang cukup strategis untuk didirikan pabrik epiklorohidrin

BAB II

PEMILIHAN PROSES

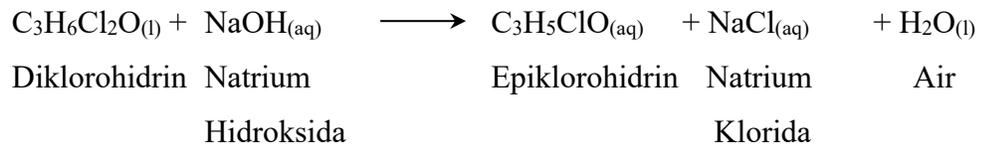
2.1. Macam-macam Proses Pembuatan Epiklorohidrin

Berikut merupakan beberapa macam proses pembuatan epiklorohidrin:

1. Reaksi Diklorohidrin dan Natrium Hidroksida

Proses pembuatan epiklorohidrin dilakukan dengan mereaksikan diklorohidrin dengan natrium hidroksida pada suhu 0 - 40 °C selama 1 detik - 180 menit.

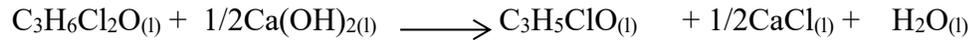
Reaksi yang terjadi adalah:



Reaksi dilakukan dengan mengumpankan diklorohidrin dan NaOH ke dalam reaktor berpengaduk pada tekanan atmosfer, sehingga membentuk epiklorohidrin dan natrium klorida. Setelah itu campuran yang dihasilkan dari reaksi masuk kedalam separator untuk memisahkan NaCl dengan epiklorohidrin. Kemudian epiklorohidrin dimurnikan sehingga didapatkan epiklorohidrin dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi. Konversi reaksi dapat mencapai 93,5% dengan kondisi operasi 32 °C selama 25 menit (Dirix *et al.*, 2016).

2. Reaksi Diklorohidrin dan Kalsium Hidroksida

Proses pembuatan epiklorohidrin dilakukan dengan mereaksikan diklorohidrin dengan kalsium hidroksida, dengan reaksi sebagai berikut



Diklorohidrin	Kalsium Hidroksida	Epiklorohidrin	Kalsium Klorida	Air
---------------	-----------------------	----------------	--------------------	-----

Diklorohidrin dan CaOH dimasukkan ke prereaktor untuk direaksikan menjadi epiklorohidrin. Kemudian umpan keluar dari prereaktor direaksikan lebih lanjut ke *reaction stripping coloum*. Keluaran *reaction stripping coloum* terbagi menjadi 2 aliran yaitu produk epiklorohidrin dan air merupakan bagian atas, sedangkan limbah menjadi produk bawah. Untuk produk epiklorohidrin dan air dikondensasi dan dilanjutkan proses pemisahan di separator. Produk epiklorohidrin yang didapatkan ditampung pada tangki penyimpanan. Untuk air yang sedikit mengandung epiklorohidrin selanjutnya di *recycle* kembali menuju *reaction stripping coloum*. Sementara limbah akan dikondensasi kemudian akan dialirkan menuju tangki air limbah. Konversi didapatkan sebesar 96,1% (Milchret *et al*, 2012).

2.2. Seleksi Proses

2.2.1. Berdasarkan nilai *gibbs free energy* dan entalpi reaksi.

Pemilihan proses berdasarkan kelayakan termodinamika dapat dilihat dari nilai perubahan entalpi (ΔH_{rxn}) dan perubahan *gibbs free energy* (ΔG_{rxn}). Nilai dari *gibbs free energy* (ΔG_{rxn}) berguna dalam menentukan reaksi tersebut dikategorikan spontan atau tidak spontan pada reaksi kimia. $\Delta G_{rxn} > 0$ menunjukkan bahwa reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan. Sedangkan $\Delta G_{rxn} < 0$ atau bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan (Smith *et al.*, 2001).

ΔH_{rxn} bernilai positif (+) maka menunjukkan bahwa reaksi bersifat endotermis, sedangkan apabila ΔH_{rxn} bernilai negatif (-) maka menunjukkan bahwa reaksi bersifat eksotermis. Jika reaksi eksotermis maka membutuhkan pendingin untuk menjaga temperatur reaksi pada kondisi operasi, dan jika reaksi endotermis maka dibutuhkan panas untuk menjaga temperatur reaksi pada kondisi operasi (Yaws *et al*, 1999).

Nilai dari ΔH_{rxn} dan ΔG_{rxn} reaksi dari kedua proses dapat dihitung sebagai berikut:

a. Reaksi Diklorohidrin dan Natrium Hidroksida

Proses reaksi pembentukan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida adalah sebagai berikut.



Tabel 2. 1. Nilai $\Delta H^{\circ}f$ pada setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	$\Delta H^{\circ}f_{298}$ (kJ/mol)
$C_3H_6Cl_2O_{(l)}$	-161,5
$NaOH_{(aq)}$	-425,6
$C_3H_5ClO_{(aq)}$	-107,8
$NaCl_{(aq)}$	-411,2
$H_2O_{(l)}$	-241,8

Proses reaksi pembentukan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida adalah sebagai berikut.



- Menghitung nilai $\Delta H^{\circ}rxn$ pada suhu 25°C

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}(25^{\circ}\text{C}) = \sum^{\text{produk}} v_i \cdot \Delta H^{\circ}_{f_i} - \sum^{\text{reaktan}} v_i \cdot \Delta H^{\circ}_{f_i}$$

(Himmelblau, 2003)

Keterangan :

ΔH°_f = Perubahan entalpi dari unsur hingga membentuk senyawa pada kondisi standar 25 °C dan 1 atm

$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}$ = Perubahan entalpi yang untuk 1 mol komponen yang bereaksi pada 25 °C dan 1 atm per reaktan pembatas

ΔH_{rxn} = Perubahan entalpi untuk lebih atau kurang dari 1 mol komponen yang bereaksi pada kondisi operasi per reaktan pembatas

$\Delta H^{\circ}_{f_i}$ = ΔH°_f komponen i pada kondisi standar pada tekanan tetap

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}(25^{\circ}\text{C}) = (\Delta H_f \text{ C}_3\text{H}_5\text{ClO} + \Delta H_f \text{ NaCl} + \Delta H_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H_f \text{ C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} + \Delta H_f \text{ NaOH})$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}(25^{\circ}\text{C}) = ((-107,8 + (-411,2) + (-241,8)) - ((-161,5) + (-425,6)))$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}(25^{\circ}\text{C}) = (-760,8) - (-587,1)$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}(25^{\circ}\text{C}) = -173,7 \text{ kJ/mol}$$

- Menghitung nilai ΔH_{rxn} pada kondisi suhu operasi 32 °C atau 305,15 K

$$\Delta H_{\text{rxn}} = \Delta H^{\circ} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT \quad (\text{Smith } et \text{ al.}, 2001)$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = A(T - T_0) + B/2(T^2 - T_0^2) + C/3(T^3 - T_0^3) + D/4(T^4 - T_0^4)$$

Tabel 2. 2. Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K) (Yaws, 1999)

Bahan	Senyawa Kimia	A	B	C	D
Natrium hidroksida	NaOH	87,639	-0,000483	-4,5423E-06	1,1863E-09
Epiklorohidrin	C ₃ H ₅ ClO	53	0,57412	-0,0015783	1,8687E-06
Natrium Klorida	NaCl	95,016	-0,031081	9,6789E-07	5,5116E-09
Air	H ₂ O	92,053	-0,039953	-0,00021103	5,3469E-07
Diklorohidrin	C ₃ H ₆ Cl ₂ O	85,462	0,44791	-0,0012858	1,6933E-06
Kalsium hidroksida	Ca(OH) ₂	0,0895	0	0	0
Kalsium Klorida	CaCl ₂	102,53	2,00625E-08	-9,23442E-09	1,40702E-09

Dimana:

$$R = 8,314$$

$$T = 32 \text{ }^{\circ}\text{C} = 305,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

Reaksi yang terjadi:



$$\Delta A = (A \text{ C}_3\text{H}_5\text{ClO} + A \text{ NaCl} + A \text{ H}_2\text{O}) - (A \text{ C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} + A \text{ NaOH})$$

$$\Delta A = (1 \times 53) + (1 \times 95,016) + (1 \times 92,053) - (1 \times 85,462) + (1 \times 87,639)$$

$$\Delta A = 66,602$$

Maka dengan cara yang sama maka untuk nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = 0,05566$$

$$\Delta C = -0,00050$$

$$\Delta D = 7,14 \times 10^{-7}$$

$$\Delta H_{305,15} = -173,7 + (8,314 \times 5,75) \text{ kJ/mol}$$

$$= -125,89 \text{ kJ/mol}$$

Tabel 2. 3. Nilai $\Delta G^{\circ f}$ pada setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	$\Delta G^{\circ f}_{298}$ (kJ/mol)
$C_3H_6Cl_2O_{(l)}$	-83,09
$NaOH_{(aq)}$	-379,5
$C_3H_5ClO_{(aq)}$	-36,74
$NaCl_{(aq)}$	-384,1
$H_2O_{(l)}$	-228,6

- Menghitung nilai $\Delta G^{\circ rxn}$ pada suhu 25°C

$$\Delta G^{\circ rxn} = \sum^{produk} v_i \cdot \Delta G^{\circ i} - \sum^{reaktan} v_i \cdot \Delta G^{\circ i}$$

(Smith, 2022)

$$\Delta G^{\circ rxn} = (\Delta G C_3H_5ClO + \Delta G NaCl + \Delta G H_2O) - (\Delta G C_3H_6Cl_2O + \Delta G NaOH)$$

$$\Delta G^{\circ rxn} = ((-107,8 + (-411,2) + (-241,8)) - ((-161,5) + (-425,6)))$$

$$\Delta G^{\circ rxn} = (-760,8) - (-587,1)$$

$$\Delta G^{\circ rxn} = -173,7 \text{ kJ/mol}$$

- Menghitung nilai $\Delta Grxn$ pada suhu operasi yaitu 32 °C atau 305,15 °C

$$\Delta Grxn = \left(\Delta H^{\circ} - \frac{T}{T_0} (\Delta H^{\circ} - \Delta G^{\circ}) \right) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta CP_0}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta CP_0}{R} \frac{dT}{T}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta CP_0}{R} dT$ adalah sebagai berikut :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta CP_0}{R} dT = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} \times T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} \times T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau \times T_0^2}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_{P_0}}{R} \frac{dT}{T}$ adalah sebagai berikut :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_{P_0}}{R} \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T+T_0}{2} \right) \right] (T - T_0)$$

Maka nilai ΔG_{rxn} adalah sebagai berikut :

$$\Delta G_{rxn} = \Delta H^O - \frac{T}{T_0} (\Delta H^O - \Delta G^O) + R \left[\Delta A + \frac{\Delta B}{2} \times T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} \times T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau \times T_0^2} \right] - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T+T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]$$

Sehingga nilai dimasukkan ke persamaan untuk didapatkan ΔG_{rxn} sebesar:

$$\Delta G_{rxn} = \Delta H^O - \frac{T}{T_0} (\Delta H^O - \Delta G^O) + R \left[\Delta A + \frac{\Delta B}{2} \times T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} \times T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau \times T_0^2} \right] - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T+T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right] \quad (\text{Smith,2001})$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{rxn} &= -173,7 - \frac{305,15}{298,15} - 173,7 - (-186,85) + 8,314 \left[66,602 + \frac{0,05566}{2} \right. \\ &\quad \times 298,15 (1,0234 + 1) + \frac{-0,00050}{3} \times 298,15^2 (1,0234^2 + 1,0234 + 1) \\ &\quad \left. + \frac{7,14 \times 10^{-7}}{1,023 \times 298,15^2} \right] - 8,314 \times 305,15 \left[66,602 \ln \frac{305,15}{298,15} + \left[0,05566 + \left(- \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. 0,00050 + \frac{7,14 \times 10^{-7}}{298,15^2 \times 305,15^2} \right) \left(\frac{305,15 + 298,15}{2} \right) \right] (305,15 - 298,15) \right] \\ \Delta G_{rxn} &= -1892 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Keterangan :

$\Delta G^{\circ f}$ = Perubahan energi gibs dari unsur hingga membentuk senyawa pada kondisi standar 25 °C dan 1 atm

$\Delta G^{\circ rxn}$ = Perubahan energi gibs untuk 1 mol komponen yang bereaksi pada 25 °C dan 1 atm

ΔG_{rxn} = Perubahan energi gibs untuk lebih atau kurang dari 1 mol komponen yang bereaksi pada kondisi operasi

v_i = Koefisien komponen i

b. Reaksi Diklorohidrin dan Kalsium Hidroksida

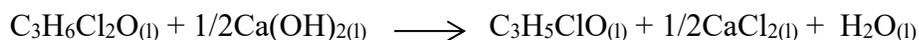
Proses reaksi pembentukan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan kalsium hidroksida adalah sebagai berikut.



Tabel 2. 3. Nilai ΔH°_f pada setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	$\Delta H^\circ_f_{298}$ (kJ/mol)
$\text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}_{(l)}$	-161,5
$\text{Ca}(\text{OH})_{2(l)}$	-986,09
$\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}_{(l)}$	-107,8
$\text{CaCl}_{(l)}$	795,4
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	-241,8

Proses reaksi pembentukan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida adalah sebagai berikut.



- Menghitung nilai $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ pada suhu 25°C

$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}}(25^\circ\text{C}) = \sum^{\text{produk}} v_i \cdot \Delta H^\circ_f i - \sum^{\text{reaktan}} v_i \cdot \Delta H^\circ_f i$$

(Himmelblau, 2003)

Keterangan:

ΔH°_f = Perubahan entalpi dari unsur hingga membentuk senyawa pada kondisi standar 25°C dan 1 atm

$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}$ = Perubahan entalpi untuk 1 mol komponen yang bereaksi pada 25 °C dan 1 atm per reaktan pembatas

ΔH_{rxn} = Perubahan entalpi untuk lebih atau kurang dari 1 mol komponen yang bereaksi pada kondisi operasi per reaktan pembatas

$\Delta H^{\circ}_{\text{fi}}$ = $\Delta H^{\circ}_{\text{f}}$ komponen i pada kondisi standar pada tekanan tetap

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}(25^{\circ}\text{C}) = (\Delta H_{\text{f}} \text{C}_3\text{H}_5\text{ClO} + \frac{1}{2} \Delta H_{\text{f}} \text{CaCl}_2 + \Delta H_{\text{f}} \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H_{\text{f}} \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} + \frac{1}{2} \Delta H_{\text{f}} \text{Ca}(\text{OH})_2)$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}(25^{\circ}\text{C}) = ((-107,8) + (1/2 \times (-795,4) + (-241,8)) - ((-161,5) + (1/2 \times (-986,09)))$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}(25^{\circ}\text{C}) = 702,645 \text{ kJ/mol}$$

- Menghitung nilai ΔH_{rxn} reaksi pada kondisi suhu operasi 70 °C atau 343,15K

$$\Delta H_{\text{rxn}} = \Delta H^{\circ} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT \quad (\text{Smith } et \text{ al.}, 2001)$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = A(T - T_0) + B/2(T^2 - T_0^2) + C/3(T^3 - T_0^3) + D/4(T^4 - T_0^4)$$

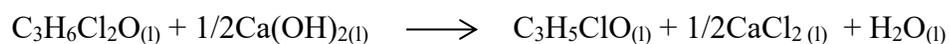
Diketahui:

$$R = 8,314$$

$$T = 70^{\circ}\text{C} = 343,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

Reaksi yang terjadi:



$$\Delta A = (A \text{C}_3\text{H}_5\text{ClO} + A \text{CaCl} + A \text{H}_2\text{O}) - (A \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} + A \text{Ca}(\text{OH})_2)$$

$$\Delta A = (1 \times 53) + (1/2 \times 102,5331) + (1 \times 92,053) - (1 \times 85,462) + (1 \times 0,0895)$$

$$\Delta A = 110,4468$$

Maka dengan cara yang sama maka untuk nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = 0,08625701$$

$$\Delta C = -0,000503535$$

$$\Delta D = 7,107 \times 10^{-7}$$

$$\Delta H_{343,15} = 702,645 + (8,314 \times 97,89) \text{ kJ/mol}$$

$$= 1516,53 \text{ kJ/mol}$$

Tabel 2. 4. Nilai $\Delta G^{\circ f}$ pada setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	$\Delta G^{\circ f}_{298}$ (kJ/mol)
$C_3H_6Cl_2O_{(l)}$	-83,09
$Ca(OH)_{2(l)}$	-898,49
$C_3H_5ClO_{(l)}$	-36,74
$CaCl_{(l)}$	-748,8
$H_2O_{(l)}$	-228,6

- Menghitung nilai $\Delta G^{\circ rxn}$ pada suhu 25°C

$$\Delta G^{\circ rxn} = \sum^{produk} v_i \cdot \Delta G^{\circ i} - \sum^{reaktan} v_i \cdot \Delta G^{\circ i}$$

(Smith, 2022)

Keterangan:

$\Delta G^{\circ f}$ = Perubahan energi gibs dari unsur hingga membentuk senyawa pada kondisi standar 25 °C dan 1 atm

$\Delta G^{\circ} \text{rxn}$ = Perubahan energi gibs untuk 1 mol komponen yang bereaksi pada 25 °C dan 1 atm

$\Delta G \text{rxn}$ = Perubahan energi gibs untuk lebih atau kurang dari 1 mol komponen yang bereaksi pada kondisi operasi

ν_i = Koefisien komponen i

$$\Delta G^{\circ} \text{rxn} = (\Delta G \text{ C}_3\text{H}_5\text{ClO} + \frac{1}{2} \Delta G \text{ CaCl}_2 + \Delta G \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G \text{ C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} + \frac{1}{2} \Delta G \text{ Ca(OH)}_2)$$

$$\Delta G^{\circ} \text{rxn} = ((-36,74) + (1/2 \times -748,8) + (-228,6)) - ((-83,09) + (1/2 \times -898,49))$$

$$\Delta G^{\circ} \text{rxn} = -107,405 \text{ kJ/mol}$$

- Menghitung nilai $\Delta G \text{rxn}$ pada suhu operasi yaitu 70 °C atau 343,15 °C

$$\Delta G \text{rxn} = (\Delta H^{\circ} - \frac{T}{T_0} (\Delta H^{\circ} - \Delta G^{\circ})) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C P_0}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C P_0}{R} \frac{dT}{T}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C P_0}{R} dT$ adalah sebagai berikut :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C P_0}{R} dT = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} \times T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} \times T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau \times T_0^2}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C P_0}{R} \frac{dT}{T}$ adalah sebagai berikut :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C P_0}{R} \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \frac{T}{T_0} + [\Delta B + (\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2}) (\frac{T+T_0}{2})] (T - T_0)$$

Maka nilai ΔG adalah sebagai berikut :

$$\Delta G \text{rxn} = \Delta H^{\circ} - \frac{T}{T_0} (\Delta H^{\circ} - \Delta G^{\circ}) + R [\Delta A + \frac{\Delta B}{2} \times T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} \times T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau \times T_0^2}] - RT [\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + [\Delta B + (\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2}) (\frac{T+T_0}{2})] (T - T_0)]$$

Sehingga nilai dimasukkan ke persamaan untuk didapatkan ΔG sebesar:

$$\Delta G \text{rxn} = \Delta H^{\circ} - \frac{T}{T_0} (\Delta H^{\circ} - \Delta G^{\circ}) + R [\Delta A + \frac{\Delta B}{2} \times T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} \times T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau \times T_0^2}] - RT [\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + [\Delta B + (\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2}) (\frac{T+T_0}{2})] (T - T_0)]$$

(Smith,2001)

Maka didapatkan nilai ΔG_{rxn} dengan memasukkan persamaan diatas:

$$\Delta G_{rxn} = -12252 \text{ kJ/mol}$$

Tabel 2. 5. Perbandingan Nilai *Gibbs Free Energy* dan Entalpi Reaksi

Jenis Proses	ΔH°_{rxn} (kJ/mol)	ΔG°_{rxn} (kJ/mol)	ΔH_{rxn} (kJ/mol)	ΔG_{rxn} (kJ/mol)
Diklorohidrin dan NaOH	-173,7	-186,85	-125,90	-1892
Diklorohidrin dan Ca(OH) ₂	702,645	-107,405	1516,53	-12252

2.2.2. Tinjauan Ekonomi

Kapasitas produksi yang dirancang pada pendirian pabrik epiklorohidrin di tahun 2027 ini sebesar 16.000 ton/ tahun. Kemurnian dari epiklorohidrin yang akan dihasilkan sebesar 99%, sehingga didapatkan kapasitas produksi tanpa pengotor sebesar:

$$\frac{16.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times 99\% = 15.840 \text{ ton/tahun}$$

Dalam satu tahun, pabrik dirancang untuk beroperasi selama 330 hari, maka kapasitas produksi untuk setiap $\frac{kg}{jam}$ sebesar :

$$\frac{15.840 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} = \frac{2.000 \text{ kg}}{\text{jam}}$$

Tabel 2. 6. Harga Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan Epiklorohidrin

Komponen	Senyawa Kimia	BM (kg/kmol)	Harga (\$/kg)	Harga (rupiah/kg)
Diklorohidrin	C ₃ H ₆ Cl ₂ O	128,99	1	15.641,95
Natrium hidroksida	NaOH	40	0,71	11.000
Epiklorohidrin	C ₃ H ₅ ClO	92,52	5	78.209,75
Kalsium hidroksida	Ca(OH) ₂	74	1	15.641,95

a. Reaksi Diklorohidrin dan Natrium Hidroksida

Proses reaksi pembentukan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida adalah sebagai berikut:



Untuk kapasitas produksi C₃H₅ClO sebesar $\frac{2.000 \text{ kg}}{\text{jam}}$ dengan besar konversi reaksi antara C₃H₆Cl₂O dan NaOH sebesar 93,5% , maka jumlah mol/jam C₃H₅ClO yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_3\text{H}_5\text{ClO} &= \frac{\text{massa C}_3\text{H}_5\text{ClO}}{\text{BM C}_3\text{H}_5\text{ClO}} \\ &= \frac{2000 \text{ kg/jam}}{0,09 \text{ kg/mol}} \\ &= 21.616,95 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan Patent US 9.447,061 B2 reaksi dilakukan dengan 1064 gram 1,3-dicloro-2-propanol (8,25 mol) dan ditambahkan 1752 gram 18% natrium hidroksida (7,9 mol). Sehingga didapatkan rasio NaOH : C₃H₆Cl₂O sebesar 1 : 1,044, dan perbandingan koefisien stokiometri reaksi dari NaOH 1 : 1 C₃H₆Cl₂O, maka reaksi pembatas adalah NaOH (Dirix *et al.*, 2016).

Diketahui persamaan reaksi sebagai berikut:



Produk $\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}$ yang diinginkan sebanyak 21.616,95 mol/jam

Untuk mencari reaktan mula-mula sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{NaOH}_{(aq)} \text{ umpan} &= \frac{\text{Mol Epiklorohidrin}}{\text{konversi}} \\ &= \frac{21.616,95}{93,5\%} \\ &= 23.119,73 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}_{(l)} \text{ umpan} &= \frac{\text{Rasio mol C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}}{\text{Rasio mol NaOH}} \times \text{mol NaOH mula-mula} \\ &= \frac{1,044}{1} \times 23.119,73 \text{ mol/jam} \\ &= 24.144,02 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan mol bereaksi maka dilakukan cara sebagai berikut:

$$\text{Konversi} = \frac{\text{jumlah reaktan yang bereaksi}}{\text{jumlah reaktan mula-mula}}$$

$$\text{Bereaksi} = \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula}$$

Maka

$$\begin{aligned} \text{NaOH Bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula} \\ &= 93,5\% \times \text{NaOH umpan} \\ &= 93,5\% \times 23.119,73 \\ &= 21.616,95 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O Bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula} \\ &= 93,5\% \times \text{NaOH umpan} \end{aligned}$$

$$= 93,5\% \times 23.119,73$$

$$= 21.616,95 \text{ mol/jam}$$

$$\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO Bereaksi} = \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula}$$

$$= 93,5\% \times \text{NaOH umpan}$$

$$= 93,5\% \times 23.119,73$$

$$= 21.616,95 \text{ mol/jam}$$

$$\text{NaCl Bereaksi} = \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula}$$

$$= 93,5\% \times \text{NaOH umpan}$$

$$= 93,5\% \times 23.119,73$$

$$= 21.616,95 \text{ mol/jam}$$

$$\text{H}_2\text{O Bereaksi} = \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula}$$

$$= 93,5\% \times \text{NaOH umpan}$$

$$= 93,5\% \times 23.119,73$$

$$= 21.616,95 \text{ mol/jam}$$

Maka diperoleh:

	$\text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}_{(l)}$	$+$	$\text{NaOH}_{(aq)}$	\longrightarrow	$\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}_{(aq)}$	$+$	$\text{NaCl}_{(aq)}$	$+$	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
Mula-mula	24.144,02		23.119,73		-				
Bereaksi			21.616,95		21.616,95		21.616,95		21.616,95
Sisa	2.527,07		1.502,78		21.616,95		21.616,95		21.616,95

Diperoleh mol/jam bahan baku dan produk yang dibutuhkan pada proses pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi antara diklorohidrin dan natrium hidroksida sebagai berikut :

Komponen	Mol/jam
$C_3H_6Cl_2O_{(l)}$	24.144,02
$NaOH_{(aq)}$	23.119,73
$C_3H_5ClO_{(aq)}$	21.616,95

Massa yang dibutuhkan sebesar = mol/jam x BM

Massa $C_3H_6Cl_2O$ yang dibutuhkan = 24.144,02 mol/jam x 0,13 kg/mol
 = 3.114,34 kg/jam

Maka dengan cara yang sama diperoleh massa bahan baku dan produk untuk pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida sebagai berikut :

Tabel 2. 9. Massa Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan Epiklorohidrin melalui Reaksi Diklorohidrin Dan Natrium Hidroksida

Komponen	Kg/jam
$C_3H_6Cl_2O_{(l)}$	3.114,34
$NaOH_{(aq)}$	924,79

Maka, harga bahan baku untuk pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida yang dibutuhkan sebesar :

Harga untuk kapasitas produksi = Massa yang dibutuhkan x harga per 1 kg

$$\begin{aligned} \text{Harga } C_3H_6Cl_2O \text{ yang dibutuhkan} &= 3.114,34 \text{ kg/jam} \times 15.503 \text{ rupiah/kg} \\ &= 48.769.265,31 \text{ rupiah/jam} \end{aligned}$$

Maka dengan cara yang sama diperoleh harga bahan baku untuk pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida sebagai berikut :

Tabel 2. 10. Harga Bahan Baku untuk Pembuatan Epiklorohidrin melalui Reaksi Diklorohidrin dan Natrium Hidroksida

Komponen	Rupiah/jam
$C_3H_6Cl_2O_{(l)}$	48.769.265,31
$NaOH_{(aq)}$	8.396.284,11
Total	57.165.549,41

Harga produk epiklorohidrin sesuai dengan kapasitas produksi sebesar :

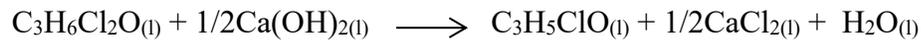
$$\begin{aligned} \text{Harga untuk kapasitas produksi} &= \text{Massa yang dihasilkan} \times \text{Harga per 1 kg} \\ &= 2.000 \text{ kg/jam} \times 93.018 \text{ rupiah/jam} \\ &= 186.036.000 \text{ rupiah/jam} \end{aligned}$$

Maka keuntungan yang diperoleh dari pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= \text{Harga produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= 186.036.000 \text{ rupiah/jam} - 57.165.549,41 \text{ rupiah/jam} \\ &= 128.870.451 \text{ rupiah/jam} \end{aligned}$$

b. Reaksi Diklorohidrin dan Kalsium Hidroksida

Proses reaksi pembentukan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dan kalsium klorida adalah sebagai berikut :



Tabel 2. 11. BM Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan Epiklorohidrin

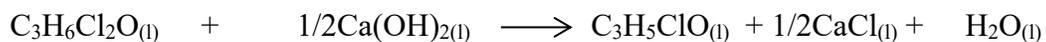
Komponen	Senyawa Kimia	BM (kg/mol)
Diklorohidrin	$\text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}$	0,13
Kalsium hidroksida	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,07
Epiklorohidrin	$\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}$	0,09

Untuk kapasitas produksi $\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}$ sebesar $\frac{2.000 \text{ kg}}{\text{jam}}$ maka jumlah mol/jam

$\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}$ yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Mol } \text{C}_3\text{H}_5\text{ClO} &= \frac{\text{massa } \text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}}{\text{BM } \text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}} \\ &= \frac{2.000 \text{ kg/jam}}{0,09 \text{ kg/mol}} \\ &= 21.616,95 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

Diketahui persamaan reaksi sebagai berikut:



Produk $\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}$ yang diinginkan sebanyak 21.616,95 mol/jam

Besar konversi reaksi $\text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}$ menjadi $\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}$ sebesar 96,1% (Milchret *et al.*, 2012). Untuk mencari reaktan mula-mula sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}_{(l)} \text{ umpan} &= \frac{\text{Mol Epiklorohidrin}}{\text{konversi}} \\ &= \frac{21.616,95}{96,1\%} \\ &= 22.494,22 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Ca}(\text{OH})_{2(l)} \text{ umpan} = \frac{\text{Rasio mol Ca}(\text{OH})_2}{\text{Rasio mol } \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}} \times \text{mol } \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} \text{ mula-mula}$$

$$= \frac{1/2}{1} \times 22.494,22 \text{ mol/jam}$$

$$= 11.247,11 \text{ mol/jam}$$

Untuk mencari mol bereaksi dilakukan cara sebagai berikut:

$$\text{Konversi} = \frac{\text{jumlah reaktan bereaksi}}{\text{jumlah reaktan mula-mula}}$$

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} \text{ bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{jumlah reaktan mula-mula} \\ &= 96\% \times \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} \text{ umpan} \\ &= 96\% \times 22.494,22 \\ &= 21.616,95 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ca(OH)}_2 \text{ bereaksi} &= \frac{\text{Koefisien Ca(OH)}_2}{\text{Koefisien C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}} \times \text{konversi} \times \text{jumlah C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} \text{ umpan} \\ &= \frac{1/2}{1} \times 96\% \times 22.494,22 \\ &= 10.808,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_5\text{ClO} \text{ bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula} \\ &= 96\% \times \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} \text{ umpan} \\ &= 21.616,95 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CaCl} \text{ bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula} \\ &= 96\% \times \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} \text{ umpan} \\ &= 21.616,95 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} \text{ bereaksi} &= \text{Konversi} \times \text{Reaktan umpan mula-mula} \\ &= 96\% \times \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} \text{ umpan} \end{aligned}$$

$$= 21.616,95 \text{ mol/jam}$$

Maka diperoleh:

$$\text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}_{(l)} + 1/2\text{Ca}(\text{OH})_{2(l)} \longrightarrow \text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}_{(l)} + 1/2\text{CaCl}_{2(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$$

Mula-mula	22.517,65	11.258,83	-	-	-
Bereaksi	21.616,95	10.808,47	21.616,95	21.616,95	21.616,95
Sisa	900,71	450,35	21.616,95	21.616,95	21.616,95

Diperoleh mol/jam bahan baku dan produk yang dibutuhkan pada proses pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi antara diklorohidrin dan kalsium hidroksida sebagai berikut :

Tabel 2. 12. Mol/jam Bahan Baku dan Produk yang dibutuhkan pada Proses Pembuatan Epiklorohidrin melalui Reaksi Diklorohidrin dan Kalsium Hidroksida

Komponen	Mol/jam
$\text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}_{(l)}$	22.517,65
$\text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)}$	11.258,83
$\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}_{(aq)}$	21.616,95

Massa yang dibutuhkan sebesar = mol/jam x BM

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O} \text{ yang dibutuhkan} &= 22.517,65 \text{ mol/jam} \times 0,13 \text{ kg/mol} \\ &= 2.904,55 \text{ kg/ jam} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh massa bahan baku dan produk untuk pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi antara diklorohidrin dan natrium hidroksida sebagai berikut :

Tabel 2. 13. Massa Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan Epiklorohidrin melalui Reaksi Diklorohidrin dan Natrium Hidroksida

Komponen	Kg/jam
$C_3H_6Cl_2O_{(l)}$	2.901,53
$Ca(OH)_{2(aq)}$	833,15

Maka, harga bahan baku untuk pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi antara diklorohidrin dan natrium hidroksida yang dibutuhkan sebesar :

Harga untuk kapasitas produksi = Massa yang dibutuhkan x harga per 1 kg

Harga $C_3H_6Cl_2O$ yang dibutuhkan = $2.901,53 \text{ kg/jam} \times 15.503 \text{ rupiah/kg}$
 = 45.029.272 rupiah/jam

Maka dengan cara yang sama diperoleh harga bahan baku untuk pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi antara diklorohidrin dan natrium hidroksida sebagai berikut :

Tabel 2. 14. Harga Bahan Baku untuk Pembuatan Epiklorohidrin melalui Reaksi Diklorohidrin dan Natrium Hidroksida

Komponen	Rupiah/jam
$C_3H_6Cl_2O_{(l)}$	45.029.272,27
$Ca(OH)_2_{(l)}$	12.916.373,94
Total	57.945.646,21

Harga produk epiklorohidrin sesuai dengan kapasitas produksi sebesar :

Harga untuk kapasitas produksi = Massa yang dihasilkan x Harga per 1 kg
 = $2.000 \text{ kg/jam} \times 93.018 \text{ rupiah/jam}$

$$= 186.036.000 \text{ rupiah/jam}$$

Maka, keuntungan yang diperoleh dari pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi antara diklorohidrin dan natrium hidroksida adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= \text{Harga produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= 186.036.000 \text{ rupiah/jam} - 57.945.646 \text{ rupiah/jam} \\ &= 128.090.354 \text{ rupiah/jam} \end{aligned}$$

Berikut adalah data perbandingan keuntungan antara proses pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dengan natrium hidroksida dan melalui reaksi diklorohidrin dan kalsium hidroksida untuk kapasitas produksi 2.000 kg/jam .

Tabel 2. 15. Perbandingan Keuntungan Proses Pembuatan Epiklorohidrin melalui Reaksi Diklorohidrin dengan Natrium Hidroksida dan melalui Reaksi Diklorohidrin dan Kalsium Hidroksida

Jenis proses	Harga bahan baku	Harga produk	Keuntungan
Diklorohidrin dan NaOH	Rp57.165.549	Rp 186.036.000	Rp128.870.451
Diklorohidrin dan Ca(OH) ₂	Rp57.945.646	Rp 186.036.000	Rp 128.090.354

2.3. Pemilihan Proses

Dari uraian jenis proses dan seleksi proses pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dengan natrium hidroksida dan melalui reaksi diklorohidrin dan kalsium hidroksida di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut :

Tabel 2. 16. Perbandingan Proses Pembuatan Epiklorohidrin melalui Reaksi Diklorohidrin dengan Natrium Hidroksida dan melalui Reaksi Diklorohidrin dengan Kalsium Hidroksida

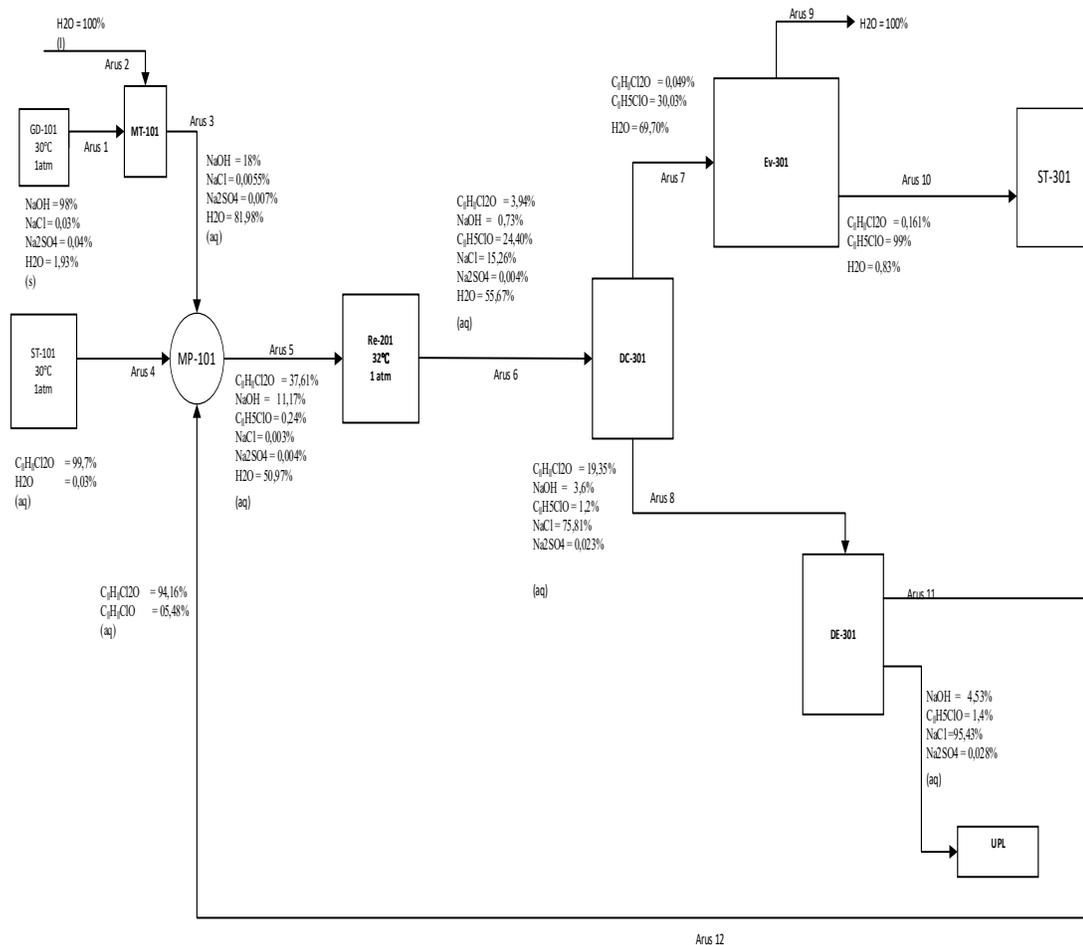
Kriteria	Reaksi Diklorohidrin dengan Natrium Hidroksida	Reaksi Diklorohidrin dengan Kalsium Hidroksida
Bahan Baku	$C_3H_6Cl_2O$, NaOH	$C_3H_6Cl_2O$, $Ca(OH)_2$
Fase Reaksi	Cair - cair	Cair - cair
Reaktor	Reaktor berpengaduk	Prereaktor dan <i>Reaction Stripping Coloum</i>
Konversi (%)	93,5	96,1
Produk Samping	NaCl	CaCl
$\Delta Grxn$ (kJ/mol)	-1892	-12252
Keuntungan	Rp128.870.451 (untuk kapasitas 2.000 kg/jam)	Rp 128.090.354 (untuk kapasitas 2.000 kg/jam)
$\Delta Hrxn$ (kJ/mol)	-125,90	1516,53
Temperatur Operasi (°C)	32	70

Ditinjau dari data perbandingan diatas, maka proses yang dipilih adalah reaksi diklorohidrin dan natrium hidroksida dengan pertimbangan kondisi operasi pada suhu yang lebih rendah yaitu 32 °C pada tekanan atmosfer serta konversi reaksi sebesar 93,5%. Berdasarkan nilai $\Delta Hrxn$, didapatkan nilai perubahan entalpi sebesar -125,90

kJ/mol maka secara keseluruhan reaksi yang terjadi yaitu eksotermis. Proses ini juga berlangsung secara spontan, dibuktikan dengan hasil perhitungan didapatkan nilai ΔG_{rxn} pada suhu operasi didapatkan sebesar -1892 kJ/mol dimana jika $\Delta G_{rxn} < 0$ maka reaksinya berjalan spontan. Selain itu, proses reaksi diklorohidrin dengan natrium hidroksida memiliki keuntungan yang lebih besar (Rp128.870.451) dibandingkan dengan reaksi kalsium hidroksida (Rp128.090.354).

2.4. Uraian Proses

Proses pembuatan epiklorohidrin melalui reaksi diklorohidrin dengan natrium hidroksida dapat dikelompokkan menjadi tiga tahap, yaitu tahap persiapan bahan baku, tahap reaksi, dan tahap pemurnian produk. Dalam proses pembuatan epiklorohidrin digunakan bahan baku berupa diklorohidrin yang disimpan dalam tangki penyimpanan ST-101 dan NaOH disimpan dalam GD-101 dengan kondisi 30°C dan tekanan 1atm. Deskripsi umum pembuatan epiklorohidrin dari diklorohidrin dan NaOH dapat di lihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Alir Uraian Proses Pembuatan Epiklorohidrin dari Diklorohidrin dan NaOH.

Keterangan:

ST : *Storage Tank*

GD : Gudang

MT : *Mixing Tank*

RE : Reaktor

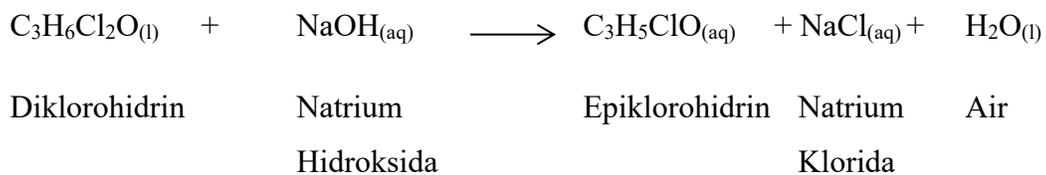
MD : Menara Distilasi

MP : *Mixing Point*

DE : Dekanter

EV : Evaporator

Tahap awal pembuatan epiklorohidrin dari diklorohidrin dan NaOH yaitu dengan melarutkan bahan baku berupa NaOH 98% dan H₂O ke dalam *mixing tank* (MT-101) yang diencerkan menjadi larutan NaOH 18%. Campuran dari *mixing tank* (MT-101) dan *storage tank* (ST-102) selanjutnya dikontakkan dalam *mixing point* dan didinginkan suhunya dengan menggunakan Cooler dari suhu 74°C menjadi 32°C kemudian mengalirkannya secara kontinyu menuju reaktor (RE-201). Reaksi yang terjadi di dalam reaktor adalah sebagai berikut :



Reaksi pembentukan yang terjadi di dalam reaktor bersifat eksotermis dan spontan. Reaksi di dalam reaktor berlangsung dengan kondisi operasi pada suhu 32 °C pada tekanan 1 atm dengan konversi optimum yang dihasilkan dari reaksi ini sebesar 93,5% (Dirix, 2016). Produk keluaran dari reaktor berupa epiklorohidrin natrium klorida, air, sisa natrium hidroksida, serta diklorohidrin. Campuran tersebut dialirkan menuju menara destilasi (DC-301) berdasarkan prinsip kesetimbangan fasa dengan hasil atas berupa H₂O dan produk epichlorohydrin yang akan dipisahkan kembali menjadi produk epichlorohydrin dengan kemurnian 99% menggunakan alat Evaporator (Ev-301) dengan menguapkan H₂O yang terkandung didalamnya. Hasil bawah menara destilasi berupa dichlorohydrin, NaOH, NaCl, Na₂So₄ dan sedikit epichlorohydrin yang selanjutnya dialirkan ke dekanter untuk memisahkan dari campurannya dengan prinsip perbedaan densitas. Sebelum masuk dekanter, produk bawah yang dihasilkan dari menara distilasi didinginkan dengan cooler mencapai suhu operasi decanter (DE-301) yaitu 35°C dan tekanan 1 atm. Hasil bawah dekanter berupa NaCl dan NaOH yang kemudian akan ditampung di UPL (Unit Pengolahan Limbah). Hasil atas dari dekanter berupa epichlorohydrin dan dichlorohydrin yang selanjutnya akan di recycle ke *mix point* (MP-101).

BAB III

SPEKIFIKASI PRODUK DAN BAHAN BAKU

3.1. Spesifikasi Bahan Baku

1. Diklorohidrin ($C_3H_6Cl_2O$)

Kemurnian	: 99%
Fasa	: Cair
Berat Molekul	: 128,99 kg/kmol
Titik Didih, (1 atm)	: 174,3 °C
Titik Lebur (1atm)	: -4 °C
Tekanan Uap (25°C)	: 0,75 mmHg
Densitas (20°C)	: 1,363 kg/L
Kelarutan (20°C)	: 110 g/L dalam air
Identifikasi Bahaya	: Bahaya jika terkena kulit, bahaya jika tertelan dan dapat menyebabkan kanker

Sumber : 1) Sigma Aldrich (2022)

2) Canadian Ingredient Disclosure List (2006)

2. Natrium Hidroksida (NaOH)

Kemurnian	: 98%
Fasa	: Padat
Berat Molekul	: 40,01 kg/kmol
Titik Didih, (1 atm)	: 1390 °C

Titik Lebur (1atm)	: 318,4 °C
Tekanan Uap (25°C)	: 0,75 mmHg
Densitas (20°C)	: 1,363 kg/L
Kelarutan (20°C)	: 109 gr/100 g air
Identifikasi bahaya	: BAHAYA ! Korosif ! Dapat berakibat fatal jika tertelan ! Dapat berbahaya jika dihirup. Menyebabkan luka bakar untuk setiap bagian yang terkena ! Untuk mata atau kontak kulit, segera bilas dengan air selama paling sedikit 15 menit. Dalam kasus tertelan, JANGAN dibuat muntah. Berikan sejumlah besar air atau susu. Dapatkan pertolongan medis segera.

Sumber : 1) Science Stuff Inc (2009)
2) Perry (1997)

3.2. Spesifikasi Produk Utama

1. Epiklorohidrin (C₃H₅ClO)

Kemurnian	: 99%
Fasa	: Cair
Berat Molekul	: 92,52 kg/kmol
Titik Didih, (1 atm)	: 117°C
Titik Beku (1atm)	: -57 °C
Tekanan Uap (25°C)	: 17,3 mmHg
Densitas (20°C)	: 1,187 kg/L

Kelarutan	: 6,6 kg/100 kg air
Identifikasi Bahaya	: Mudah terbakar. Beracun jika terhirup, kontak dengan kulit, dan jika tertelan. Menyebabkan luka bakar. Dapat menyebabkan sensitisasi oleh kontak kulit. Dapat menyebabkan kanker.

Sumber : 1) Groupe Veritas (2015)
2) Perry (1997)

3.2. Spesifikasi Produk Samping

1. Natrium Klorida (NaCl)

Fasa	: Cair
Berat Molekul	: 58,44 kg/kmol
Titik Didih, (1 atm)	: 1461 °C
Titik Lebur (1atm)	: 801 °C
Densitas (20°C)	: 2,17 g/cm ³
Kelarutan	: 358 g/L
Identifikasi bahaya	: Bahan ini tidak diklasifikasikan sebagai berbahaya menurut undang-undang Uni Eropa dan Bukan bahan atau campuran berbahaya menurut Peraturan (EC) No 1272/2008.

Sumber : PT. Smart-Lab Indonesia (2006)

2. Air (H₂O)

Fasa	: Cair
Berat Molekul	: 18,1 kg/kmol
Titik Didih, (1 atm)	: 100 °C
Titik Lebur (1atm)	: 0°C
Tekanan Uap (25°C)	: 17, 535 mm Hg
Densitas	: 0,9982 kg/L
pH	: 7
Sumber	: LabChem (2020)

BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Epiklorohidrin dengan kapasitas 16.000 ton/tahun dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Persen *Return on Investment* (ROI) sesudah pajak 24 %.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 2,57 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 54 % menunjukkan jumlah biaya produksi sama dengan jumlah pendapatan.
4. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 38 % menunjukkan batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
5. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 33,29 %, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sebesar 6 % sehingga *investor* akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

B. Saran

Dengan mempertimbangkan hasil perhitungan dari hasil analisis ekonomi di atas maka pabrik Epiklorohidrin dengan kapasitas enam belas ribu ton per tahun baik untuk dikaji lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba, 2023. *Harga Bahan Kimia*. Diakses melalui www.Alibaba.com pada 8 Januari 2023.
- Aries, R. S., & Newton, R. D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. In McGraw-Hill Chemical Engineering Series. New-York: McGraw-Hill Book Company.
- Badan Pusat Statistik, 2022. *Statistic Indonesia*. Diakses melalui www.bps.go.id pada 24 Oktober 2022.
- Brownell, L. E., and Young, E. H. 1956. *Process Equipment Design*. University of Michigan. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Coulson, J. M., and J. F. Richardson 2005. *Chemical Engineering 4th edition*. Butterworth-Heinemann: Washington.
- Dean, John A. 1999. *Lange's Handbook of Chemistry 15th edition*. Mcgraw-Hill Co :New York.
- Dirix., 2016. *Process for Preparing Epichlorohydrin from Dichlorohydrin*. United States Patent No. US 9,447,061 B2.
- Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering 4th edition*. Prentice Hall International Inc: United States of America.

Geankoplis, Christie. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operation 3rd edition*. Allyn & Bacon Inc, New Jersey.

Yalowsky, Samuel H. 2010. *Handbook of Aqueous Solubility Data 2nd edition*. Taylor and Francis Group : United States of America.

Hill, Charles G. 1977. *An Introduction to Chemical Engineering Kinetics & Reactor Design*. John Wiley and Sons Inc. New York.

Himmelblau, David. 2004. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering 7th edition* . Prentice Hall Inc, New Jersey.

Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Trans*. Mcgraw-Hill Co.:New York.

Kirk, R.E. and Othmer, D.F. 2004. “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, 4th edition, vol.17. John Wiley and Sons Inc. New York.

Levenspiel, O. 1972. *Chemical Reaction Engineering 2nd edition*. John Wiley and Sons Inc, New York.

L.Ma., W. zhu., X. Q. Yuan and Q. Yue. 2007. *Synthesis of Epichlorohydrin from Dichloropropanols Kinetics Aspects of the Process*. Chemical Engineering Research and Design : China.

McCabe, W. L. and Smith, J. C. 1985. *Operasi Teknik Kimia*. Erlangga, Jakarta.

Milchert, E., Krzyzanowska, A., Hnat, A, W., and Pazdzioch, W. 2012. *The Influence of Technological Parameters on Dehydrochlorination of Dichloropropanols*. Industrial & Engineering Chemistry Research

- Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th edition*. McGraw Hill: New York.
- Peter, M. S., Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th edition*. McGraw Hill: New York.
- PT. Asahimas Chemical, 2022. *Data Kapasitas Produksi NaOH*. Diakses melalui www.asc.co.id pada 10 Desember 2022.
- PT. Jinan Finer Chemical, 2022. *Data Kapasitas Produksi Diklorohidrin*. Diakses melalui www.finerchem.com pada 11 Desember 2022.
- Sirya, R, P, 2015. *Prarancangan Pabrik Epichlorohydrin dari Dichlorohydrin dan Sodium Hidroksida dengan Kapasitas 50.000 ton/tahun*. Skripsi, Lampung: Universitas Lampung.
- Smith, J. M., h.c. Van Ness, and M. M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6th edition*. McGraw Hill: New York.
- Suci, A, E, 2019. *Prarancangan Pabrik Kimia Epiklorohidrin dari Diklorohidrin dan Natrium Hidroksida dengan Kapasitas 50.000 ton/tahun*. Skripsi, Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2002. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition*. McGraw-Hill: New York.
- Treyball, R.E. 1983. *Mass Transfer Operation 3rd edition*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Ulrich, G. D., 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc, New York.

UN Comtrade, 2022. *Data Impor Epiklorohidrin di Indonesia*. Diakses melalui www.comtrade.un.org pada 14 November 2022.

Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butterworth-Heinemann: Washington.

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Book Co., New York.