

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Negara Indonesia saat ini sedang berusaha untuk tumbuh dan mengembangkan kemampuan yang dimiliki negara agar dapat mengurangi ketergantungan terhadap negara lain. Semua ini dilakukan agar tercapai tujuan Pembangunan Nasional. Tujuan Pembangunan Nasional yaitu mewujudkan masyarakat adil dan makmur berdasarkan Pancasila. Oleh karena itu dilakukan peningkatan disegala sektor terutama disektor perekonomian. Untuk meningkatkan perkonomian negara Indonesia maka diperlukan peningkatan pemanfaatan sumber daya yang dimiliki Indonesia. Usaha yang dilakukan salah satunya adalah pembangunan industri kimia di Indonesia.

Pembangunan industri kimia diharapkan dapat menurunkan ketergantungan impor bahan kimia dari negara lain. Selain itu, pembaNgunan industri kimia dapat menurunkan angka pengangguran karena dalam industri membutuhkan tenaga kerja yang banyak dan meningkatkan produksi bahan kimia dalam negeri. Salah satu bahan industri kimia yang banyak dikonsumsi oleh industri kimia dalam negeri adalah *vinyl chloride monomer* (VCM) , yang selama ini sebagian besar masih didatangkan dari luar negeri yaitu Jepang, Taiwan dan Thailand. Industri VCM terbesar di Indonesia dimiliki oleh PT Asahimas Chemical belum mampu memenuhi kebutuhan VCM di Indonesia.

*Vinyl chloride monomer* (VCM) adalah senyawa monomer yang berwujud gas tidak berwarna pada temperatur kamar dan tekanan atmosfer yang secara komersial dibuat dari reaksi antara etilen dan gas HCl. Sekitar 96% produk VCM adalah bahan baku dari pembuatan *poly vinyl chloride* (PVC). PVC resin sendiri banyak digunakan untuk bahan-bahan pengganti karet, *coating* (bahan pembungkus), *flooring*, *isolasi* listrik, *tank lining* (pelapisan tangki-tangki), piringan hitam serta barang-barang plastik seperti selang, kulit imitasi, dan pipa.

### **1.2. Ketersediaan Bahan Baku**

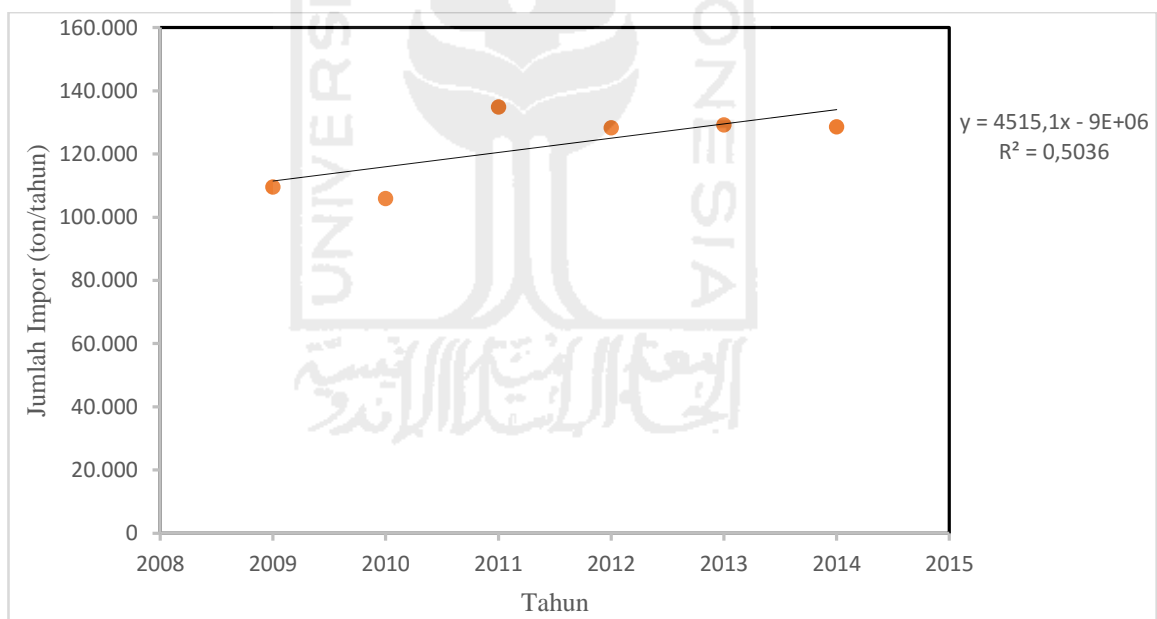
Dalam pembuatan VCM dibutuhkan bahan baku yaitu etilen dan asam klorida. Etilen diperoleh dari PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk. sedangkan Asam Klorida dapat diperoleh di PT. Asahimas Chemical.

### **1.3. Kapasitas Perancangan**

Penentuan kapasitas perancangan pabrik VCM didasarkan pada kebutuhan dari tahun ke tahun di Indonesia. Berdasarkan data statistik perdagangan luar negeri Indonesia, kebutuhan impor VCM di Indonesia cukup besar. Dari tabel di bawah ini dapat diketahui kebutuhan impor VCM di Indonesia dari tahun 2009-2014.

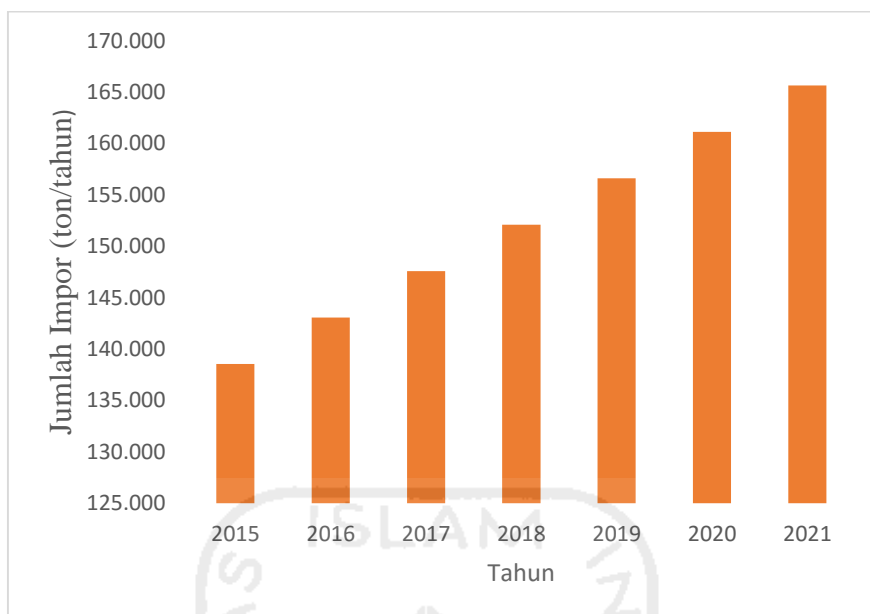
Tabel 1.1 Data impor VCM (BPS, 2016)

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2009	109.612
2010	105.952
2011	134.878
2012	128.312
2013	129.191
2014	128.588



Gambar 1.1 Grafik hubungan antara tahun dan jumlah impor

Dari grafik tersebut, diperoleh persamaan  $4515,1x - 9.10^6$  sehingga untuk mengetahui jumlah impor pada tahun 2021 dilakukan ekstrapolasi.



Gambar 1.2. Grafik ekstrapolasi antara jumlah impor dengan tahun

Pada grafik diperoleh data pada tahun 2021 impor yang dilakukan oleh Indonesia sebesar 170.000 ton/tahun. Untuk mengurangi angka impor maka ditetapkan kapasitas perancangan pabrik VCM sebesar 78% dari kebutuhan impor yaitu 130.000 ton/tahun.

#### 1.4. Tinjauan Pustaka

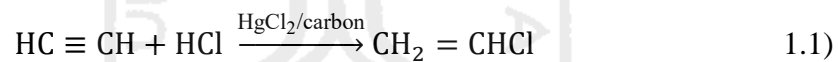
Pada pembuatan VCM terdapat empat cara yaitu : reaksi antara asetilen ( $C_2H_2$ ) dengan asam klorida (HCl), reaksi metil klorida ( $CH_3Cl$ ) dengan etilen klorida ( $CH_2CHCl$ ), *hydrodechloronation* 1-1-2 *trichloroethane* ( $C_2H_3Cl_3$ ) dan *cracking* EDC. Keempat metode akan dijelaskan secara singkat di bawah ini.

##### 1.4.1. Reaksi antara $C_2H_2$ dengan HCl

Metode pertama kali yang digunakan untuk pembuatan VCM adalah dengan mereaksikan  $C_2H_2$  dengan HCl. Pada reaksi ini dibutuhkan katalis yaitu *mercury chloride* ( $HgCl_2$ ) dan karbon aktif. Karbon aktif ini digunakan sebagai  $HgCl_2$  dan diperoleh dari batu bara atau *coke* petroleum.

Pada proses ini,  $C_2H_2$  yang digunakan terlebih dahulu dikeringkan kemudian dilewatkan pada tumpukan karbon aktif dengan tujuan untuk menghilangkan zat-zat yang dapat merusak katalis seperti sulfida. HCl yang digunakan bebas air yang dihasilkan dari reaksi antara gas  $H_2$  dan gas  $Cl_2$ .  $C_2H_2$  dengan HCl dicampur dengan menggunakan *mixer* dan dipanaskan sebelum dimasukkan dalam reaktor.

Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut:

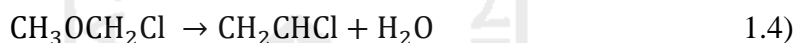
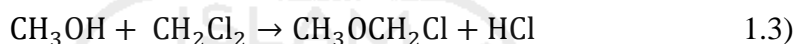


Reaksi yang terjadi merupakan reaksi eksotermis dengan panas reaksi pada  $25^\circ C$  dan tekanan 1 atm adalah sebesar  $-22.451,77$  Kkal/kgmol, sehingga panas yang dihasilkan harus diserap agar reaktor bekerja pada kondisi isothermal.

Reaksi ini berjalan pada temperatur  $90 - 140^\circ C$  dan tekanan 1,5 atm hingga 1,6 atm. Pada kondisi operasi tersebut, konversi reaktan adalah sebesar 80-85%. Reaktor yang digunakan pada proses ini adalah *fixed bed reactor* dengan katalis yang diletakkan di dalam pipa-pipa.

#### 1.4.2. Reaksi CH<sub>3</sub>Cl dengan CH<sub>2</sub>CHCl

Metode ini dilakukan dengan mereaksikan CH<sub>3</sub>Cl yang berada pada fasa uap-nya untuk menghasilkan VCM dan HCl. Satu mol CH<sub>3</sub>Cl bereaksi dengan satu mol CH<sub>2</sub>CHCl untuk menghasilkan satu mol VCM dan dua mol HCl. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



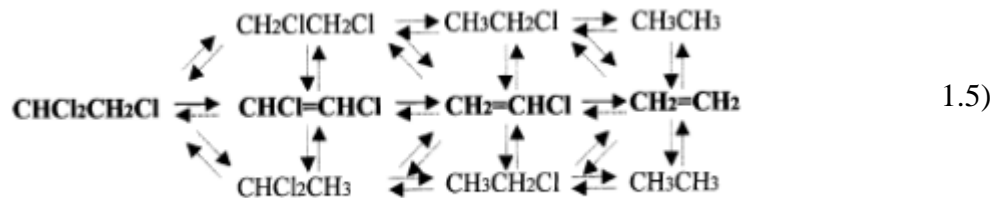
Reaksi di atas berjalan pada suhu 300 – 500°C dan tekanan 1 atm sampai 10 atm. Untuk meningkatkan selektivitas maka digunakan katalis aluminium gel, gamma-alumina, *zinc chloride*, *zeolit* dan *silicone aluminium phosphorus*.

#### 1.4.3. *Hydrodechlorination 1-1-2 trichloroethane (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>, TCE)*

Pada proses ini TCE direaksikan selama 2 jam dalam sebuah reaktor alir kontinyu fixed bed yang beroperasi pada tekanan atmosferis dan suhu 300°C. TCE adalah limbah dari proses pembuatan EDC. Untuk meningkatkan kinetika reaksi pada proses ini dilakukan dengan menjaga perbandingan input H<sub>2</sub> sebesar 10 kali lebih besar dari TCE. Pada proses ini digunakan gas N<sub>2</sub> sebagai pembawa gas H<sub>2</sub>. Pada proses ini digunakan katalis Ni – Cu/SiO<sub>2</sub>, aktivasi katalis dilakukan dengan mengalirkan gas H<sub>2</sub> dengan gas N<sub>2</sub> sebagai gas pembawanya selama 2

jam pada suhu 400°C. Pada proses ini diperoleh konversi 95%.

*Hydrodechloronation* berjalan sesuai dengan reaksi berikut ini:



#### 1.4.4. *Cracking* EDC

*Vinyl chloride monomer* (VCM) dapat diproduksi melalui proses *cracking* EDC yang diperoleh melalui dua metode yaitu

##### a. Klorinasi langsung

Produksi EDC dengan mereaksikan secara langsung etilen dengan klorin. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut:



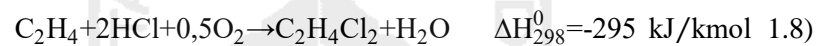
Katalis yang digunakan adalah  $\text{FeCl}_3$  dengan konsentrasi 0,1-0,5 %berat. Pada reaksi tersebut terdapat reaksi samping yaitu :



Dari reaksi samping menghasilkan TCE dan asam klorida. Pembentukan hasil samping dapat ditekan dengan penggunaan rekatan yang tinggi kemurniannya. Penggunaan etilen berlebih untuk memastikan klorin habis terkonversi, sehingga mengurangi hasil samping.

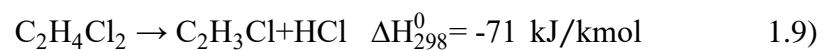
b. Oksiklorinasi

Proses produksi berlangsung pada suhu tinggi 200 – 315°C dengan tekanan operasi 4-6 atm dengan katalis  $\text{CuCl}_2$  dalam reaktor *fixed bed* atau *fluidized bed*. Proses ini menggunakan etilen, HCl, dan oksigen dengan perbandingan molar 2:4:1 menghasilkan 2 mol etilen diklorida dan 2 mol air. Konversi etilen dapat dicapai 93-97% dengan selektivitas pada EDC 91-96%.



Hasil samping yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan DC. Pengotor yang dihasilkan adalah TCE, *chloral*, *trichloroetilen* (TRI), 1,1 dan 1,2 *dichloroethelene*.

Pada proses *cracking* EDC beroperasi pada suhu 480 – 550°C dan tekanan 3-30 bar. Proses *cracking* ini dapat mendekomposisi EDC menjadi VCM dan HCl sesuai dengan reaksi berikut :



Selain reaksi utama tersebut, selama proses *cracking* juga terjadi beberapa reaksi samping. Salah satu reaksi samping yang terjadi adalah :





Produk-produk samping yang terbentuk selama proses *cracking* terutama HCl dan etilen akan di-*recycle* dan menjadi bahan baku untuk proses oksiklorinasi.

Reaktor yang digunakan pada proses ini adalah *long tubular coil* yang berada di dalam *furnace*. Reaktor ini terdiri dari dua bagian yaitu *pre-heat zone* dan *reaction zone*. Pada *pre-heat zone* dilakukan penyesuaian suhu sehingga mencapai 480 – 550°C dimana reaksi pirolisis dapat berlangsung secara optimum, kemudian pada *reaction zone* terjadi reaksi pemecahan EDC menjadi VCM. Diameter koil reaktor dirancang sedemikian rupa sehingga kecepatan gas yang mengalir di dalamnya berkisar antara 10-20 m/s dan panjang koil dirancang hingga memungkinkan waktu tinggal selama 5-30 sekon.

Pada proses ini ada banyak *impurities* yang terdeteksi dalam hasil pirolisis, sehingga EDC harus dimurnikan terlebih dahulu sebelum masuk reaktor. Pada proses ini pembentukan *coke* akan sangat mengganggu reaksi. Untuk mencegah terbentuknya *coke*, suhu reaksi harus dijaga berada di bawah 500°C. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan aditif seperti *nitromethane chloroform* atau *carbon tetrachloride*.

## 1.5. Pemilihan Proses

### a. Tinjauan berdasarkan proses

Proses pembentukan VCM yang digunakan pada perancangan ini adalah pembentukan VCM melalui *cracking* EDC. EDC merupakan

produk *intermediate*. EDC sendiri dihasilkan dari *chlorination* etilen. Tinjauan proses ini bertujuan untuk membandingkan proses *chlorination* secara klorinasi langsung atau oksiklorinasi.

Tabel 1.2 Perbandingan berdasarkan proses pembuatan EDC

Kriteria	Klorinasi langsung	Oksiklorinasi
Konversi	99,7 %	93-97%
Reaksi	1 tahap	1 tahap
Katalis	FeCl <sub>3</sub>	CuCl <sub>2</sub>
Tekanan	2 atm	3 – 30 bar
Suhu	75°C	200 – 315°C
Hasil Samping	TCE, karbon dioksida, klorin	TCE, karbon dioksida, klorin

b. Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik ini selama setahun dengan kapasitas 130.000 ton/tahun. Berikut ini perbandingan beberapa harga bahan baku dan harga produk.

Tabel 1.3 Harga bahan baku dan produk

Bahan	Harga, USD/kg
Etilen	1,278
HCl	0,85
Cl <sub>2</sub>	1
VCM	8

## 1. Pembuatan EDC secara klorinasi langsung

	$C_2H_4 (g)$	+	$Cl_2 (g)$	→	$C_2H_4Cl_2 (g)$
Mula - Mula	1		1		
Reaksi	0,997		0,997		0,997
Sisa	0,003		0,003		0,997

- Mol etilen = 1 kmol

$$\text{Massa etilen} = \text{mol} \times \text{BM}$$

$$= 1 \text{ kmol} \times 28,05 \text{ kg/kmol}$$

$$= 28,05 \text{ kg} = 0,02805 \text{ ton}$$

- Mol Cl<sub>2</sub> = 1 kmol

$$\text{Massa Cl}_2 = \text{mol} \times \text{BM}$$

$$= 1 \text{ kmol} \times 71 \text{ kg/kmol}$$

$$= 71 \text{ kg} = 0,071 \text{ ton}$$

Jumlah harga bahan baku :

$$= (28,05 \text{ kg} \times \text{USD } 1,278/\text{kg}) + (0,071 \text{ kg} \times \text{USD } 1/\text{kg})$$

= USD 106,8479

	$C_2H_4Cl_2(g)$	$\rightarrow$	$C_2H_3Cl(g)$	$+ HCl(g)$
Mula - Mula	0,997			
Reaksi	0,5483		0,5483	0,5483
Sisa	0,44865		0,5483	0,5483

Harga produk VCM :

Massa VCM = mol  $\times$  BM

$$= 0,5483 \text{ kmol} \times 62,5 \text{ kg/kmol}$$

$$= 34,27 \text{ kg}$$

Harga produk = 34,27 kg  $\times$  USD 8/kg

$$= \text{USD } 274,15$$

Keuntungan = Harga Produk - Harga Bahan Baku

$$= \text{USD } 274,15 - \text{USD } 106,85$$

$$= \text{USD } 167,30$$

## 2. Pembuatan EDC secara oksiklorinasi

	$C_2H_4(g)$	$+ 2 HCl(g)$	$+ 0,5 O_2(g)$	$\rightarrow$	$C_2H_4Cl_2(g)$	$+ H_2O(g)$
Mula - Mula	1	2	0,5			
Reaksi	0,97	1,94	0,485		0,97	0,97
Sisa	0,03	0,06	0,15		0,97	0,97

- Mol etilen = 1 kmol

Massa etilen = mol  $\times$  BM

$$= 1 \text{ kmol} \times 28,05 \text{ kg/kmol}$$

$$= 28,05 \text{ kg} = 0,028 \text{ ton}$$

- Mol HCl = 2 kmol

$$\text{Massa HCl} = \text{mol} \times \text{BM}$$

$$= 2 \text{ kmol} \times 36,46 \text{ kg/kmol}$$

$$= 72,92 \text{ kg} = 0,073 \text{ ton}$$

- Mol O<sub>2</sub> = 2 kmol

$$\text{Massa O}_2 = \text{mol} \times \text{BM}$$

$$= 2 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol}$$

$$= 64 \text{ kg} = 0,064 \text{ ton}$$

Jumlah harga bahan baku :

$$= (28,05 \text{ kg} \times \text{USD } 1,278/\text{kg}) + (72,92 \text{ kg} \times \text{USD } 0,85/\text{kg}) + (64 \text{ kg} \times \text{USD } 0/\text{kg})$$

$$= \text{USD } 97,83$$

	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2(\text{g})$	$\rightarrow$	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}(\text{g})$	$+ \text{HCl}(\text{g})$
Mula - Mula	0,97			
Reaksi	0,5335		0,5335	0,5335
Sisa	0,4365		0,5335	0,5335

Harga produk VCM :

$$\text{Massa VCM} = \text{mol} \times \text{BM}$$

$$= 0,5335 \text{ kmol} \times 62,5 \text{ kg/kmol}$$

$$= 33,3437 \text{ kg}$$

$$\text{Harga produk} = 33,3437 \text{ kg} \times \text{USD } 8/\text{kg}$$

$$= \text{USD } 266,75$$

Keuntungan = Harga Produk - Harga Bahan Baku

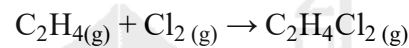
$$= \text{USD } 266,75 - \text{USD } 97,8299$$

$$= \text{USD } 168,9210$$

c. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat reaksi apakah reaksi dapat berlangsung atau tidak.

1. Klorinasi langsung



Tabel 1.4 Nilai  $\Delta G_f^\circ$  masing-masing komponen (Yaws, 1979)

Senyawa	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)
$\text{C}_2\text{H}_4$	68,12
$\text{Cl}_2$	0
$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	-73,85

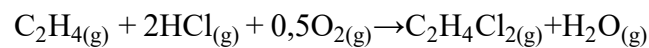
$$\sum \Delta G^\circ = \sum (n \times \Delta G_f^\circ)_{\text{produk}} - \sum (n \times \Delta G_f^\circ)_{\text{reaktan}} \quad (1.11)$$

$$= [\Delta G_f^\circ \text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2] - [(\Delta G_f^\circ \text{C}_2\text{H}_4) + (\Delta G_f^\circ \text{Cl}_2)]$$

$$= [-73,85] - [68,12 + 0]$$

$$= -141,97 \text{ kJ}$$

2. Oksiklorinasi



Tabel 1.5 Nilai  $\Delta G_f^\circ$  masing-masing komponen (Yaws, 1979)

Senyawa	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)
$\text{C}_2\text{H}_4$	68,12
HCl	-95,30

O <sub>2</sub>	0
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	-73,85
H <sub>2</sub> O	-228,6

$$\begin{aligned} \sum \Delta G^{\circ} &= \sum (n \times \Delta G_f^{\circ})_{\text{produk}} - \sum (n \times \Delta G_f^{\circ})_{\text{reaktan}} \\ &= [(\Delta G_f^{\circ} \text{ C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2) + (\Delta G_f^{\circ} \text{ H}_2\text{O}_4)] - [(\Delta G_f^{\circ} \text{ C}_2\text{H}_4) + (\Delta G_f^{\circ} \text{ HCl}) + (\Delta G_f^{\circ} \text{ O}_2)] \\ &= (-73,85 - 228,6) - (68,12 - 95,3 - 0) \\ &= \mathbf{-275,27 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai  $\Delta G^{\circ}$  semua reaksi dari masing-masing proses yang telah diperoleh menunjukkan bahwa reaksi pada reaktor dapat berlangsung tanpa membutuhkan energi yang besar, karena diinginkan nilai  $\Delta G^{\circ} < 0$  agar tidak membutuhkan energi berupa panas yang terlalu besar (konsumsi energi kecil). Dalam parameter perancangan pabrik kimia berupa parameter termodinamik bahwa nilai  $\Delta G^{\circ} < 0$  masih dapat terpenuhi.

Dari beberapa pertimbangan, maka dipilih proses oksiklorinasi sebagai proses pembentukan EDC. Hal ini karena keuntungan yang didapat lebih besar.