

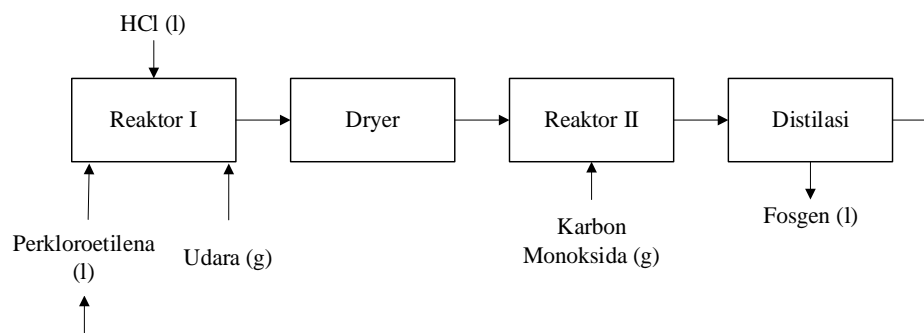
BAB II

SELEKSI DAN URAIAN PROSES

II.1 Macam-Macam Proses

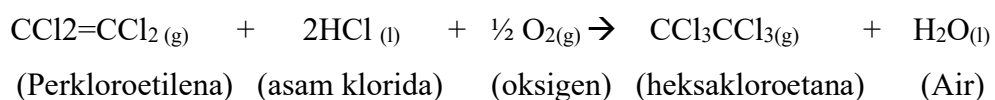
Carbonyl Chloride dapat dibentuk melalui dua proses dengan skala industri antara lain:

1. Metode Oksikloronasi (Reaksi Perkloroetilena dengan Hidrogen Klorida dan Oksigen)



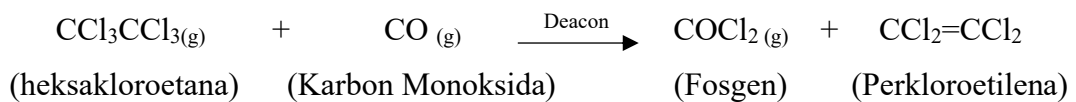
Gambar II. 1 Diagram Produksi Carbonyl Chloride dari Perkloroetilena dengan Asam klorida dan Oksigen

Proses produksi carbonyl chloride ini berlangsung melalui dua tahap reaksi berurutan dengan karakteristik yang berbeda. Pada tahap pertama, terjadi reaksi antara perkloroetilena (C_2Cl_4) dengan hidrogen klorida (HCl) dan oksigen (O_2) membentuk heksakloroetana (C_2Cl_6) dan air. Reaksi eksotermis ini dikatalisis oleh katalis Deacon ($CuCl_2$) dalam reaktor multitubular pada rentang suhu $200-375^\circ C$ dan tekanan atmosfer (1 atm). Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

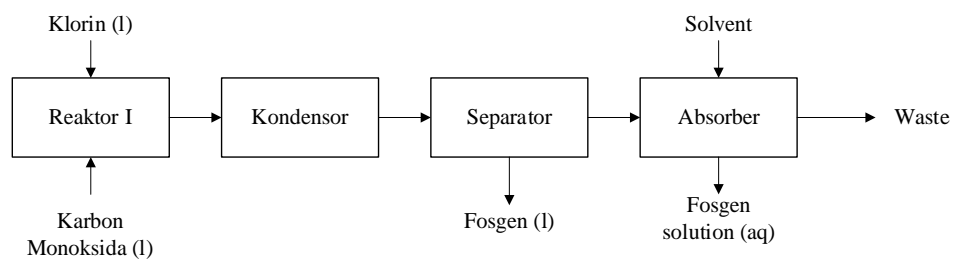


Pada tahap kedua, carbonyl chloride ($COCl_2$) diproduksi melalui proses dekomposisi termal heksakloroetana dengan bantuan gas karbon monoksida. Reaksi ini bersifat endotermis dan berlangsung pada suhu yang lebih tinggi, yakni antara 200 hingga $400^\circ C$, namun tetap dilakukan pada tekanan atmosfer. Untuk menjaga kestabilan suhu dan pengendalian panas yang optimal, reaktor yang digunakan masih berupa reaktor multitubular, seperti pada tahap pertama. Kedua

tahap reaksi ini membentuk sistem siklus tertutup dimana perkloroetilena yang dihasilkan pada tahap kedua dapat di *recycle* sebagai *feed* untuk tahap pertama, meningkatkan efisiensi proses secara keseluruhan. Reaksi yang terjadi sebagai berikut (Stauffer, 1997) :

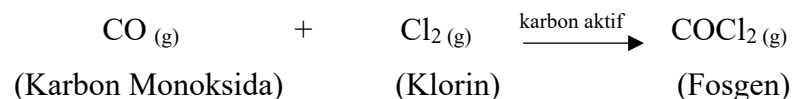


2. Metode Fosgenasi (Reaksi Karbon Monoksida dengan Klorin)



Gambar II. 2 Diagram Produksi Carbonyl Chloride dari Karbon Monoksida dan Klorin

Proses ini dilakukan dengan mereaksikan gas karbon monoksida dan gas klorin menggunakan katalis karbon aktif. Reaksi kimia yang terjadi sebagai berikut:



Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, sehingga karbon monoksida digunakan dalam jumlah berlebih agar seluruh klorin bereaksi sempurna dan tidak menghasilkan produk samping. Reaksi berlangsung pada rentang suhu 150°C dengan reaktor turbular. Namun, jika suhu melebihi 250°C, fosgen akan terurai kembali menjadi karbon monoksida dan klorin. Untuk mengendalikan panas reaksi, digunakan pendingin berupa air atau senyawa organik yang dialirkan melalui bagian shell reaktor. Reaksi dapat dilakukan pada tekanan di atas maupun di bawah tekanan atmosfer. Gas hasil reaksi kemudian dialirkan ke kondensor untuk mengkondensasi fosgen. Gas yang tidak terkondensasi nantinya akan dialirkan ke separator untuk dipisahkan dengan fosgen. Gas buang kemudian dialirkan ke absorber untuk penyerapan menggunakan larutan alkali. Proses ini digunakan untuk



menetralkan atau mengikat sisa klorin dan fosgen dengan kemurnian rendah (Abrahamsson, 1997).

II.2 Pemilihan Proses

Berdasarkan macam-macam proses pembentukan fosgen diatas, maka dapat dibuat perbandingan sebagai berikut:

Tabel II. 1 Perbandingan Proses Produksi Carbonyl Chloride

No.	Parameter	Metode Oksikloronasi	Metode Fosgenasi
1.	Kondisi Operasi	200-400°C ; 1 atm	150°C ; 3 atm
2.	Bahan Baku	Perkloroetina, HCl, O ₂ dan CO	CO dan Cl ₂
3.	Katalis	Deacon (CuCl ₂)	Karbon Aktif
4.	Proses	2 kali pereaksian	1 kali pereaksian
5.	Konversi	80-90%	90-99%

(Abrahamsson, 1997; Stauffer, 1997)

Dari dua metode yang tersedia untuk produksi carbonyl chloride, metode yang dipilih adalah reaksi antara karbon monoksida dan klorin dengan bantuan katalis karbon aktif. Pemilihan metode ini didasarkan pada sejumlah pertimbangan, antara lain:

1. Bahan baku berupa karbon monoksida dan klorin mudah diperoleh di Indonesia.
2. Proses ini hanya melibatkan satu tahap reaksi dan mampu menghasilkan produk dengan tingkat kemurnian tinggi, yaitu sekitar 90–99%.
3. Reaksi berlangsung pada suhu yang relatif rendah, yaitu 150 °C, sehingga lebih aman dan efisien dalam penggunaan energi.
4. Proses ini cukup dilakukan dalam satu reaktor dan hanya melalui satu tahap reaksi.

Selain pertimbangan diatas, dapat dilakukan juga pertimbangan segi ekonomi yang dihitung berdasarkan potensial ekonominya sebagai berikut:



1. Metode Fosgenasi

Tabel II. 2 Data Harga Bahan Baku dan Produk

Nama bahan	BM (kg/kmol)	Harga Kg/produk (Rp)
COCl ₂	99	65.000
CO	28	17.000
Cl ₂	71	22.000

(Alibaba 2025 ; Linde, 2025)

Konversi COCl₂ = 95%

	CO (g)	+	Cl ₂ (g)	$\xrightarrow{\text{karbon aktif}}$	COCl ₂ (g)
m	73,91		73,91		
r	70,21		70,21		70,21
s	3,7		3,7		70,21

Potensial Ekonomi = Harga Produk – Harga Bahan Baku

$$\begin{aligned}
 PE &= (\text{BM COCl}_2 \times \text{Harga COCl}_2 \times \text{Jumlah Mol COCl}_2) - [(\text{BM CO} \times \text{Harga CO} \\
 &\quad \times \text{Jumlah Mol CO}) + (\text{BM Cl}_2 \times \text{Harga Cl}_2 \times 1 \text{ kmol})] \\
 &= (99 \text{ kg/kmol} \times \text{Rp } 65.000/\text{kg} \times 70,21 \text{ kmol}) - [(28 \text{ kg/kmol} \times \text{Rp } 17.000/\text{kg} \times \\
 &\quad 73,91 \text{ kmol}) + (71 \text{ kg/kmol} \times \text{Rp } 22.000/\text{kg} \times 73,91 \text{ kmol})] \\
 &= (\text{Rp } 451.801.350) - (\text{Rp } 35.181.160 + \text{Rp } 115.447.420) \\
 &= \text{Rp } 301.172.770
 \end{aligned}$$

Nama bahan	Harga produk (Rp)/Kg
Fosgene solution	Rp.90.000
Toluena	Rp. 40.000

(Sigma Aldrich, 2025a, 2025b)

$$\begin{aligned}
 \text{Potensial Ekonomi} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= \text{Rp.90.000} - \text{Rp. 40.000} \\
 &= \text{Rp. 50.000}
 \end{aligned}$$

Keuntungan terhadap massa produk yang dihasilkan:

$$\text{Keuntungan} = \frac{\text{Rp } 301.172.770}{6.944,44 \text{ kg}} = \text{Rp } 43.328/\text{kg produk}$$

**2. Proses Oksokloronasi**

Nama bahan	BM (kg/kmol)	Harga Kg/produk (Rp)
COCl ₂	99	65.000
CCl ₂ = CCl ₂	165	32.000
CO	28	17.000
HCl	36	15.000

A. Reaksi I

$$CCl_2 = CCl_{2(g)} + 2HCl_{(g)} + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CCl_3CCl_{3(g)} + H_2O_{(g)}$$

m	97,08	194,16	48,54		
r	82,52	165,04	41,26	82,52	82,52
s	14,56	29,12	7,28	82,52	82,52

B. Reaksi II

$$CCl_3CCl_{3(g)} + CO_{(g)} \rightarrow COCl_{2(g)} + CCl_2 = CCl_{2(g)}$$

m	82,52	82,52		
r	70,14	70,14	70,14	70,14
s	12,38	12,38	70,14	70,14

Potensial Ekonomi = Harga Produk – Harga Bahan Baku

$$\begin{aligned}
 PE &= (BM \text{ COCl}_2 \times \text{Harga COCl}_2 \times \text{Jumlah Mol COCl}_2) - [(BM \text{ CCl}_2 = \text{CCl}_2 \times \\
 &\quad \text{Harga CCl}_2 = \text{CCl}_2 \times \text{Jumlah Mol CCl}_2 = \text{CCl}_2) + (BM \text{ HCl} \times \text{Harga HCl} \\
 &\quad \times \text{Jumlah Mol HCl}) + (BM \text{ CO} \times \text{Harga CO} \times \text{Jumlah Mol CO})] \\
 &= (99 \text{ kg/kmol} \times \text{Rp } 65.000/\text{kg} \times 70,14 \text{ kmol}) - [(165 \text{ kg/kmol} \times \text{Rp } 32.000/\text{kg} \\
 &\quad \times 26,94 \text{ kmol}) + (36 \text{ kg/kmol} \times \text{Rp } 15.000/\text{kg} \times 194,16 \text{ kmol}) + (28 \\
 &\quad \text{kg/kmol} \times \text{Rp } 17.000/\text{kg} \times 82,52 \text{ kmol})] \\
 &= (\text{Rp } 451.350.900) - (\text{Rp } 286.370.200) \\
 &= \text{Rp } 164.971.700
 \end{aligned}$$



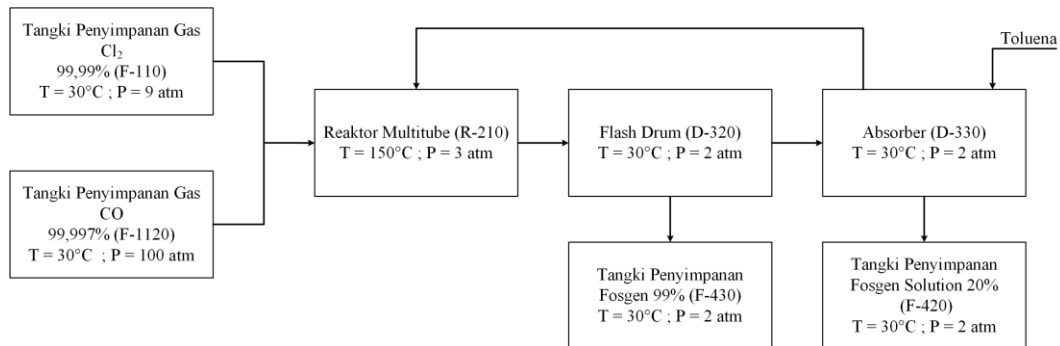
Keuntungan terhadap produk yang dihasilkan:

$$\text{Keuntungan} = \frac{\text{Rp } 164.971.700}{6944,44} = \text{Rp } 23.756 / \text{kg produk}$$

Berdasarkan perhitungan potensial ekonomi dan massa produk yang dihasilkan, metode fosgenasi menunjukkan keuntungan yang lebih tinggi dibandingkan metode oksoklorinasi. Kedua metode menghasilkan massa produk yang sama yakni 6.944,44 kg, namun metode fosgenasi memberikan keuntungan ekonomi yang lebih besar yaitu Rp. 43.328/kg produk

II. 3 Uraian Proses

Proses produksi Carbonyl Chloride dari karbon monoksida dan klorin dapat dibagi dalam lima tahap proses, yaitu:



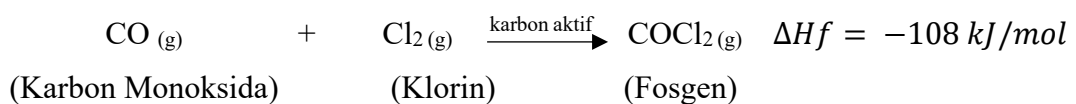
Gambar II. 3 Blok Diagram Pengembangan Pembentukan Carbonyl Chloride dari Karbon Monoksida dan Klorin

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Gas Klorin disimpan dalam kondisi cair pada suhu 30°C dan tekanan 9 atm di Tangki Penyimpanan F-110. Dari sana, klor dialirkan menuju Expansion Valve G-112 untuk dikonversi ke fase gas. Gas klor kemudian diarahkan ke Heater E-114, di mana suhunya dinaikkan hingga 150 °C menggunakan steam. Sementara itu, karbon monoksida disimpan dalam bentuk gas terkompresi pada tekanan 100 atm dan suhu 30°C di Tangki Penyimpanan F-120. Gas ini dilewatkan ke Expansion Valve G-122 untuk menurunkan tekanannya menjadi 3 atm, lalu dipanaskan menggunakan Heater E-122 hingga mencapai suhu 150°C. Gas karbon monoksida ini tidak sepenuhnya murni, dengan kandungan 99% CO, serta mengandung impuritas seperti metana (0,0005%), karbon dioksida (0,0005%), dan hidrogen (0,001%).

2. Tahap Pereaksian

Gas klor dan karbon monoksida pada kondisi 150 °C dan tekanan 3 atm diumpankan ke dalam Reaktor R-210 yang berisi katalis karbon aktif. Reaksi yang terjadi adalah:





dimana reaksi diatas bersifat eksotermis. Reaktor yang digunakan adalah tipe fixed bed multi-tube, beroperasi secara isothermal. Reaksi berlangsung dengan efisiensi tinggi, menghasilkan fosgen dengan konversi sebesar 95%.

3. Tahap Pemurnian Produk1

Gas hasil reaksi dari Reaktor R-210 yang mengandung fosgen dan zat pengotor dialirkan menuju Kondensor E-310. Di sini, suhu diturunkan hingga 40°C menggunakan dowtherm, untuk mengubah fosgen ke fase cair. Campuran uap dan cairan tersebut kemudian dialirkan ke Flash Drum D-320 dengan bantuan Pompa P-311 untuk memisahkan fasa uap dan cair. Gas fosgen yang belum terkondensasi akan dialirkan ke Absorber D-330, di mana pelarut toluena digunakan untuk menyerap sisa fosgen, menghasilkan Fosgen Solution dalam fasa cair dengan kadar fosgen 20%. Gas fosgen yang belum terkondensasi akan dialirkan ke Absorber D-330, di mana pelarut toluena digunakan untuk menyerap sisa fosgen, menghasilkan Fosgen Solution dalam fasa cair dengan kadar fosgen 20%.

4. Tahap Penyimpanan Produk

Carbonyl Chloride (Fosgen) cair yang telah dipisahkan dari fasa uap di Flash Drum D-320, dengan tingkat kemurnian 99%, disimpan pada suhu 40°C dan tekanan 2 atm dalam Tangki F-430. Adapun Fosgen Solution dari Absorber D-330, yang mengandung 20% fosgen dan 80% toluena, disimpan di Tangki F-420 pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm.

5. Tahap Recycle

Gas buang yang keluar dari Absorber D-330 masih mengandung komponen reaktan yang belum bereaksi, terutama karbon monoksida (CO) dan klorin (Cl₂), serta gas inert seperti H₂ dan CH₄. Untuk meningkatkan efisiensi proses dan meminimalkan kehilangan bahan baku, aliran gas tersebut tidak langsung dibuang ke lingkungan, tetapi dialirkan kembali ke sistem reaksi (recycle). Sebelum direcycle, gas sisa disesuaikan kondisi operasi melalui heater E-510 hingga suhu mencapai 150°C, aliran gas sisa dialirkan kembali ke Reaktor multitubular R-210. Penerapan sistem recycle ini bertujuan untuk meningkatkan konversi proses, menekan konsumsi bahan baku, serta mengurangi emisi gas berbahaya ke lingkungan sehingga operasi pabrik menjadi lebih ekonomis dan ramah lingkungan.