



Pra Perancangan Pabrik

“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Klorin dengan Proses Redoks”

BAB II

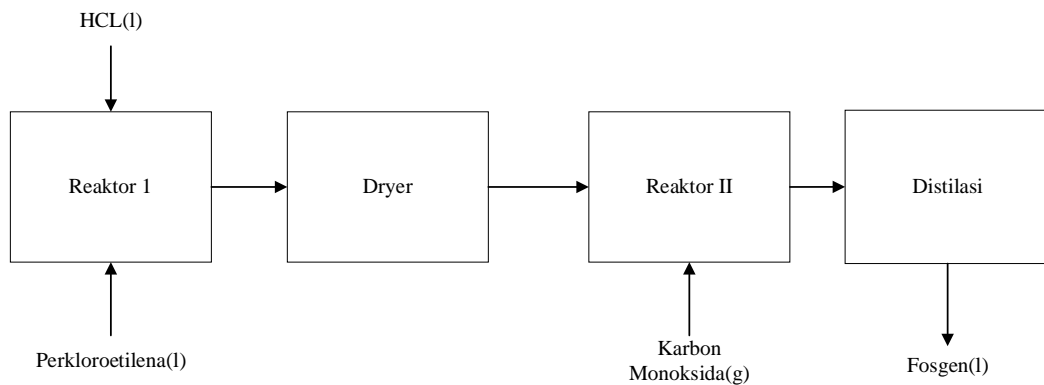
SELEKSI DAN URAIAN PROSES

II.1. Macam Proses

Ada dua macam proses yang dilakukan untuk produksi fosgen yang digunakan pada skala industri, yaitu:

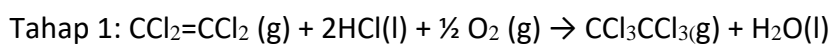
1. Reaksi Perkloroetilena dengan Hidrogen Klorida dan Oksigen
2. Reaksi Karbon Monoksida dengan Klorin

II.1.1. Reaksi Perkloroetilena dengan Hidrogen Klorida dan Oksigen



Gambar II.1 Diagram Reaksi Perkloroetilena dengan Hidrogen Klorida dan Oksigen

Proses ini terjadi dalam dua tahap reaksi. Dimana pada tahap pertama perkloroetilena ($\text{Cl}_2\text{C} = \text{CCl}_2$) bereaksi dengan hidrogen klorida dan oksigen untuk menghasilkan heksakloroetana dan air. Reaksi ini dibantu dengan bantuan katalis Deacon (*Copper Chloride*) dengan menggunakan reaktor jenis multitubular. Reaksi ini bersifat eksotermis dan berlangsung pada suhu $200\text{--}375\text{ }^\circ\text{C}$ pada tekanan 1 atm. Tahap kedua heksakloroetana bereaksi dengan karbon monoksida menghasilkan fosgen dan perkloroetilena. Reaksi ini berlangsung pada suhu $200\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$, tekanan 1 atm dan bersifat endotermis. Reaktor yang digunakan adalah jenis multitubular.



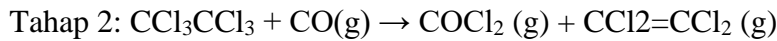
Perkloroetilena

heksakloroetana



Pra Perancangan Pabrik

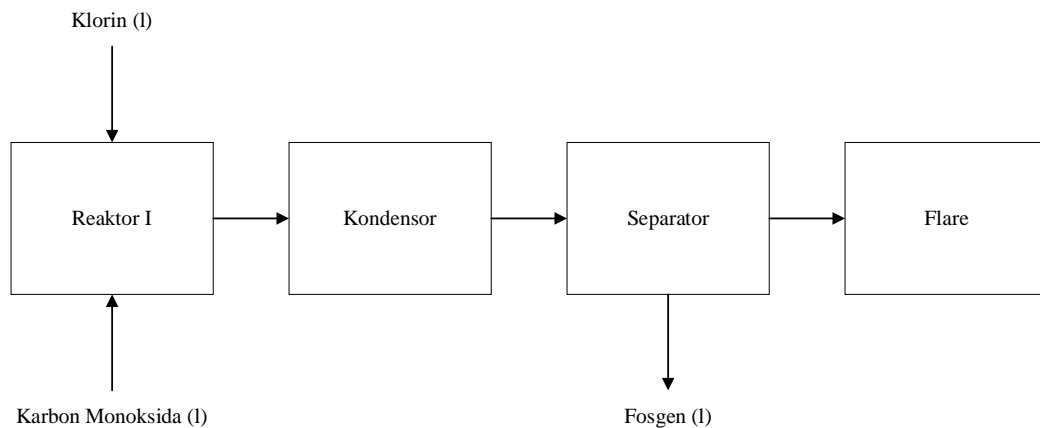
“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Khlorin dengan Proses Redoks”



Heksakloroetana fosgen

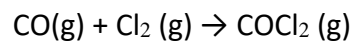
(US Patent–5672747, 1995)

II.1.2. Reaksi Karbon Monoksida dengan Khlorin



Gambar II.2 Diagram Reaksi Karbon Monoksida dengan Khlorin

Proses ini dilakukan dengan jalan mereaksikan antar gas karbon monoksida dan gas khlorin dengan bantuan katalis karbon aktif. Adapun persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:



Karbon Monoksida Khlorin Fosgen

Reaksi bersifat sangat eksotermis dengan perbandingan stoikiometri karbon monoksida dibuat berlebih agar khlorin semuanya bereaksi dengan karbon monoksida dan tidak membentuk produk yang lain. Reaksi dapat berlangsung pada suhu 77–180 °C. Pada suhu di atas 250 °C, fosgen akan kembali terurai menjadi karbon monoksida dan khlorin. Reaktor yang digunakan untuk proses ini adalah reaktor multitubular yang biasanya terbuat dari karbon atau stainless steel.

Panas reaksi dihilangkan oleh air atau bahan–bahan organik lain yang mengalir dalam shell di reaktor. Reaksi bisa terjadi diatas atau dibawah tekanan atmosfer. Gas keluar reaktor akan dikondensasikan untuk mendapatkan fosgen cair sedangkan fosgen yang tidak terkondensasikan atau uncondensable gas dibuang sebagai gas buang atau flare. (Ullman, 1985)



Pra Perancangan Pabrik

“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Klorin dengan Proses Redoks”

II.2. Seleksi Proses

Seleksi suatu proses pembuatan fosgen dapat dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa kelebihan dan kekurangan yaitu:

1. Proses reaksi perkloroetilena dengan hidrogen klorida dan oksigen menjadi fosgen adalah

a. Kelebihan

Bahan HCl mudah didapat dan bahan HCl lebih murah dengan harga Rp. 24.000 per kg dibandingkan klorin dengan harga Rp. 165.000 per kg.

b. Kelemahan

Katalis Deacon lebih susah didapat, proses terjadi pada 2 tahap reaksi, dan bahan baku yang digunakan tidak tersedia di Indonesia.

2. Proses reaksi karbon monoksida dengan klorin menjadi fosgen.

a. Kelebihan

Katalis karbon aktif mudah didapat di Indonesia, proses terjadi cukup dengan 1 reaksi, penelitian mengenai proses pembuatan fosgen dari CO dan Cl₂ sudah banyak dilakukan, dan bahan baku yang digunakan tersedia di Indonesia.

b. Kelemahan

Gas CO harus murni karena impuritis pada gas CO berupa gas H₂ dan CH₄ dapat bereaksi dengan klorin menjadi HCl dan CCl₄. Reaksi tersebut tidak membutuhkan katalis dan dapat terjadi pada pipa sebelum masuk ke reaktor. Pada impuritis dengan konsentrasi rendah biasanya pembentukan impuritis produknya tidak signifikan, tetapi pada konsentrasi yang tinggi dapat menghasilkan panas yang cukup untuk melelehkan pipa.

(US Patent–5693853, 1989)

Temperatur dijaga agar tidak berlebih, karena pada suhu 483 °F (250 °C) klorin akan membakar besi dan menghasilkan api. Selain itupada



Pra Perancangan Pabrik

“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Klorin dengan Proses Redoks”

suhu diatas 250 °C fosgen akan terdekomposisi menjadi Cl₂, CO dan CCl₄.

(European Patent–0796819A1, 1992)

Selain dari segi teknis pemilihan proses produksi juga dapat dilakukan dengan mempertimbangkan segi ekonomi yang paling menguntungkan. Pada segi ekonomi dapat dilakukan dengan menghitung potensial ekonomi setiap prosesnya. Berikut potensial ekonomi setiap proses, yaitu sebagai berikut:

Tabel I.8. Data Harga Bahan Baku dan Produk Proses

Komponen	BM	Harga	BM × Harga
	(kg/kmol)	(US\$/kg)	(US\$/kmol)
CO	28	2	56
Cl ₂	70	2	140
COCl ₂	99	3	297

(Kementerian Perindustrian,2022)

Maka perhitungan potensial ekonomi sebagai berikut:

PE = Nilai produk – Biaya bahan baku

= (297 – (56 + 140)) US\$/kgmol

= (297 – 196) US\$/kgmol

= 101 US\$/kgmol



Pra Perancangan Pabrik

“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Klorin dengan Proses Redoks”

Tabel I.9. Perbandingan Proses Pembuatan Fosgen

Tinjauan	Macam Proses	
	Perkloroetilena, HCl & O ₂	CO & Cl ₂
Suhu	200–400 °C	77–180 °C
Tekanan	1 atm	2 atm
Bahan baku	Perkloroetilena, HCl dan O ₂	CO dan Cl ₂
Katalis	<i>Deacon</i>	Karbon aktif
Proses	2 reaksi	1 reaksi

(US Patent–5672747, 1995 dan Ullman, 1985)

Dari dua proses yang ada pada pembuatan fosgen ini, proses yang dipilih adalah reaksi karbon monoksida dengan klorin menggunakan katalis karbon aktif. Pemilihan proses ini didasarkan atas pertimbangan– pertimbangan sebagai berikut:

1. Proses ini dapat menggunakan bahan baku berupa karbon monoksida dan klorin yang mudah didapatkan di Indonesia.
2. Proses ini dapat berlangsung dengan satu tahapan saja dan menghasilkan kemurnian yang tinggi 90–99%.
3. Temperatur reaksi yang digunakan lebih rendah yaitu 77–180 °C sehingga operasional lebih aman dan lebih hemat energi.
4. Reaksi hanya berlangsung pada 1 reaktor dan 1 tingkatan saja.

2. Uraian Proses

Langkah proses pembuatan fosgen dari karbon monoksida dan gas klor dapat dikelompokkan dalam empat tahap proses, yaitu:

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap proses utama
3. Tahap pemurnian produk
4. Tahap penyimpanan produk



Pra Perancangan Pabrik

“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Klorin dengan Proses Redoks”

Adapun uraian proses pembuatan fosgen terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

a. Tahap Persiapan Bahan Baku

Klor di simpan dalam Tangki Penyimpan F-110 pada fase cair dengan tekanan 1 atm dan suhu $-34,72^{\circ}\text{C}$, kemudian dialirkan melalui Pompa P-111 menuju Vaporizer V-112 untuk merubah fasa gas klor dari cairan menjadi gas. Selanjutnya dialirkan melalui Blower G-113 menuju Heater E-114 untuk menaikkan suhunya dengan menggunakan steam sehingga mencapai suhu 150°C .

Sementara itu gas karbon monoksida disimpan dalam Tangki Penyimpan F120 pada fase cair gan tekanan 2,8 atm dan suhu -141°C , kemudian dialirkan menuju Ekspansi Valve G-122 untuk menurunkan tekanannya menjadi 1 atm. Selanjutnya dialirkan menuju Heater E-122 untuk menaikkan suhunya dengan menggunakan steam sehingga mencapai suhu 150°C . Gas karbon monoksida yang digunakan dalam proses reaksi ini tidak dalam kondisi murni karena masih ada kandungan impuritis di dalamnya, antara lain gas metan (CH_4) dengan konsentrasi 0,1%, karbondioksida (CO_2) dengan konsentrasi 0,4%, dan gas hidrogen (H_2) dengan konsentrasi 0,5%, sementara untuk gas karbon monoksida yang digunakan memiliki konsentrasi 99%.

b. Tahap Proses Utama

Bahan baku Cl_2 dan CO yang telah bertekanan 1 atm dan suhu 150°C tersebut diumpankan ke dalam reaktor yang telah berisi katalis padat karbon aktif. Di dalam Reaktor R-210 terjadi proses reaksi CO dan Cl_2 menjadi fosgen (COCl_2). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Karbon Monoksida Klorin Fosgen

Reaktor yang digunakan adalah reaktor jenis fixed bed multi tube dengan kondisi non isothermal dan bersifat eksotermis. Reaktor dioperasikan pada suhu 150°C dengan tekanan 1 atm. Konversi produk gas fosgen yang diperoleh dari reaktor adalah sebesar 99,5%.



Pra Perancangan Pabrik

“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Klorin dengan Proses Redoks”

c. Tahap Pemurniaan Produk

Tahap ini bertujuan untuk memisahkan produk gas fosgen dari zat-zat impuritis dan mendapatkan kemurnian produk yang lebih tinggi. Produk gas fosgen beserta kandungan-kandungan impuritis yang keluar dari Reaktor R-210 dialirkan melalui Blower G-211 menuju Kondensor E-310 untuk mengkondensasikan gas fosgen sehingga diperoleh fosgen dalam bentuk cairan, dengan cara menurunkan suhu menjadi 40°C menggunakan media air pendingin. Hasil keluaran Kondensor E310 merupakan campuran uap-cair pada tekanan 1 atm dan suhu 40°C . Selanjutnya fosgen yang merupakan campuran uap cair ini dialirkan melalui pompa P-311 menuju KO Drum V-320 untuk dipisahkan antara uap dan cairan fosgennya. Sisa gas fosgen yang tidak terkondensasi yang telah terpisah di KO Drum V-320 menjadi 32°C , untuk selanjutnya diumpankan menuju Absorber V-330 untuk dipulihkan kembali menggunakan pelarut toluene. Produk fosgen yang keluar dari Absorber V-330 disebut Fosgen Solution dengan fasa cair dan kemurnian fosgen 20%.

Sementara sisa gas selain COCl_2 dari Absorber V-330, antara lain Cl_2 , CO , H_2 dan CH_4 akan dibuang ke udara bebas. Tetapi karena gas Cl_2 sisa yang tidak bereaksi tidak dibenarkan untuk dibuang ke udara bebas maka terlebih dahulu di treatment dengan mengontakkannya dengan campuran air dan NaOH pada Absorber V-340. NaOH disimpan pada Tangki Penyimpanan F-440 untuk kemudian dicampurkan dengan air proses pada Tangki Pelarutan M-352 untuk selanjutnya diumpankan ke Absorber V-340. Campuran yang keluar dari Absorber V-340 terdiri dari Cl_2 , air dan NaOH selanjutnya dibuang ke unit pengolahan limbah cairan. sementara sisa gas CO , H_2 dan CH_4 dibakar pada Combuster C-360 sehingga menghasilkan gas CO_2 yang dapat dibuang ke udara bebas

d. Tahap Penyimpanan Produk

KO Drum V-320 diperoleh fosgen cair yang sudah bebas dari kandungan uapnya dengan konsentrasi sebesar 99,69%, selanjutnya produk fosgen cair yang diperoleh disimpan dalam Tangki Penyimpanan F-430 pada suhu 4°C dan

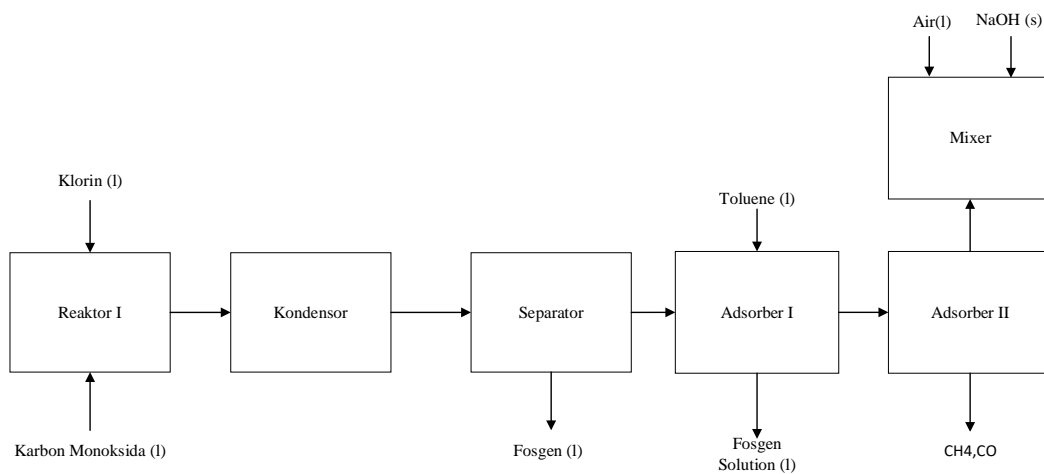


Pra Perancangan Pabrik

“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Khlorin dengan Proses Redoks”

tekanan 1 atm. Fosgen cair dengan konsentrasi kemurnian 99,69% ini juga disertai dengan beberapa kandungan zat impuritis, antara lain hidrogen klorida (HCl) dengan konsentrasi 0,1%, karbondioksida (CO₂) dengan konsentrasi 0,1%, dan gas klor (Cl₂) dengan konsentrasi 0,1%.

Sementara itu Fosgen Solution yang diperoleh dari Absorber V-330 disimpan dalam Tangki Penyimpanan F-420 pada suhu 32°C dan tekanan 1 atm, dengan konsentrasi kemurnian 20% dan toluene 80%.



Gambar II. 3. Diagram Alir Pengembangan Proses Reaksi Karbon Monoksida dengan Khlorin pada Pra Rancangan Pabrik Fosgen

Bentuk pengembangan dalam proses reaksi karbon monoksida dengan khlorin pada pra rancangan pabrik fosgen jika dibandingkan dengan Ulman dalam (ulman,1985) terdapat perbedaan dalam pemilihan tekanan dan suhu didalam proses utama yakni pada reaktor fixed bed multitube dan pengolahan gas sisa produksi. Tekanan dan suhu operasi pada pengembangan proses reaksi karbon monoksida dengan khlorin pada pra rancangan pabrik fosgen pada tekanan 1 atm dengan suhu 150 °C dengan konversi fosgen 98% kemudian mengelolah gas sisa produksi menjadi produk samping yang dapat dipasarkan sedangkan pada proses reaksi karbon monoksida dengan khlorin menurut Ulman, tekanan 2 atm dan suhu operasi mencapai 180 °C pada reaktor fixed bed multitube dengan koversi fosgen yang dihasilkan hanya 92 % kemudian dalam mengelola gas sisa produksi



Pra Perancangan Pabrik

“Pra Rancangan Pabrik Fosgen dari Karbonmonoksida dan Klorin dengan Proses Redoks”

menggunakan flare sebagai alat untuk membakar sisa gas produksi yang masih menyebabkan polusi udara.