

## BAB III

### PERANCANGAN PROSES

#### 3.1. Uraian Proses

Bahan baku fosfor berupa padatan ditampung di dalam Silo (SL-01). Kemudian fosfor padat dipindahkan menuju *Melter* (M-01) untuk dicairkan menjadi fosfor cair. Kemudian dialirkan menuju ke *Heater* 02 (H-02) untuk dipanaskan hingga mencapai suhu 90°C yaitu suhu operasi pada reaktor. Dengan menggunakan *centrifuge pump* 05 (P-05), fosfor akan dialirkan menuju reaktor gelembung (R-01).

Bahan baku lainnya yaitu klorin cair disimpan dalam bentuk cair pada *pressurized tank* (T-01) dengan tekanan sebesar 10,5 atm untuk menghemat volume tangki. Pada reaksi dibutuhkan klorin yang berfase gas. Oleh karena itu, klorin cair dialirkan menggunakan P-03 ke *valve* (VLV-01) untuk diturunkan tekanannya hingga 1,3 atm lalu dipisahkan fase gas dari cairannya dengan *separator drum* 01 (SD-01). Arus keluar SD-01 yang berfase cair kemudian dialirkan ke *vaporizer* (VAP-01) untuk diuapkan lalu dicampurkan dengan arus keluar SD-01 yang berfase gas. Setelah dicampur, klorin gas ini lalu dipanaskan dengan *heat exchanger* 01 (HE-01), HE-02, dan *heater* 01 (H-01) hingga mencapai suhu reaksi yang dibutuhkan yaitu 90 °C. Setelah dipanaskan, gas klorin yang bertekanan 1,3 atm ini dialirkan ke reaktor gelembung (R-01) dan bereaksi dengan fosfor cair. Reaksi pembentukan fosfor triklorida ( $\text{PCl}_3$ ) terjadi pada suhu 90 °C dan tekanan 1,3 atm.

Produk yang dihasilkan berupa  $\text{PCl}_3$  cair, kemudian diembunkan dan didinginkan dengan HE-01 hingga suhu 60,7 °C. Kemudian fase cair dan gas dipisahkan dalam *separator drum* 02 (SD-02) sehingga diperoleh 2 arus yaitu  $\text{PCl}_3$  cair dan sedikit  $\text{Cl}_2$  serta gas  $\text{Cl}_2$  yang mengandung  $\text{PCl}_3$ . Gas yang mengandung banyak  $\text{Cl}_2$  dialirkan ke tempat pengolahan limbah sedangkan  $\text{PCl}_3$  cair dipompa dengan P-04 menuju menara distilasi 01 (MD-01) untuk dinaikkan kemurniannya

hingga 99,7 %. Semua hasil atas MD-01 diembunkan ditampung dengan *condenser* 01 (CD-01) dan hasil embunnya ditampung dalam *accumulator* 01 (AC-01). Embunan dipompa dengan P-05 kemudian sebagian dikembalikan ke MD-01 sebagai refluks dan sisanya dialirkan ke tempat pengolahan limbah. Sebagian hasil bawah MD-01 diuapkan dengan *reboiler* (RB-01) dan sisanya lagi diambil sebagai produk. Produk dipompa dengan P-06 menuju HE-02 untuk didinginkan hingga suhu 35 °C. Setelah itu, tekanan produk diturunkan hingga 1 atm dan dialirkan ke T-03.

### 3.2. Spesifikasi Alat

<b>Tangki Penyimpanan Klorin (T-01A, T-01B, T-01 C)</b>	
Tugas	Menyimpan bahan baku <i>liquid chloride</i> sebanyak 2.576,2 kg/jam selama 7 hari
Tipe	Silinder Tegak dengan alasa datar dan <i>torispherical head</i>
Material Konstruksi	<i>Stainless steel Sa-167 Grade 11 tipe 316</i>
Kondisi Penyimpanan	Cair
Waktu Penyimpanan	7 hari
Suhu Penyimpanan	35 °C
Tekanan Penyimpanan	10,5 atm
Jumlah	3 buah
Volume	211,9015 m <sup>3</sup>
Tinggi	16,4 m
Diameter	5 m
Tebal <i>shell</i>	1,375 in
Tebal <i>head</i>	2,2571 in
Tinggi <i>head</i>	41,5 in
Harga	US\$132.776

<b>Silo Penyimpanan Fosfor (SL-01)</b>	
Tugas	Menyimpan bahan baku fosfor yang berasal dari <i>supplier</i> sebanyak 252 m <sup>3</sup> untuk kebutuhan proses
Tipe	Silinder tegak dengan alas datar dan <i>conical head</i>
Kondisi Penyimpanan	Padat
Waktu Penyimpanan	30 hari
Tekanan Penyimpanan	1,3 atm
Suhu Masuk	30 °C
Diameter (D)	4,6 m
Panjang (H)	11 m
Tebal <i>sheel</i>	0,375 in
Tebal <i>head</i>	2,25 in
Sudut <i>head</i>	85 °
Jumlah	1
Bahan	<i>Carbon steel</i>
Harga	US\$116.179
<b>Tangki Penyimpanan PCl<sub>3</sub> (T-03A) dan (T-03B)</b>	
Tugas	Menyimpan produk PCl <sub>3</sub> sebanyak 3156,6783 kg/jam
Tipe	Silinder tegak dengan alas datar dan <i>torispherial head</i>
Material Konstruksi	<i>stainless steel</i> AISI 316
Kondisi Penyimpanan	Cair
Waktu Penyimpanan	30 hari
Suhu Penyimpanan	35 °C
Tekanan Penyimpanan	1,24 atm
Jumlah	2 buah
Volume	552,5 m <sup>3</sup>
Tinggi	14,9 m

Diameter (D)	6,1 m
Tebal <i>sheel</i>	0,5625 in
Tebal <i>head</i>	4,5864 in
Sudut <i>head</i>	85 °
Tinggi <i>head</i>	10 in
Harga	US\$165.971
<b>Reaktor Gelembung (R-01)</b>	
Tugas	Mereaksikan fosfor cair sebanyak 714 kg/jam dengan gas klorin sebanyak 2.567,1 kg/jam menjadi fosfor triklorida sebanyak 3165,5 kg/jam
Tipe	<i>Bubble Reactor isothermal</i> dengan jaket pendingin
Kondisi Operasi	
Fase	Gas – Cair
Temperatur	90 °C
Tekanan	1,3 atm
Jenis Katalis	<i>Non-catalitic</i>
Dimensi Reaktor	
Diameter Reaktor	3,1 m
Tinggi Reaktor	11 m
Dimensi <i>Shell</i>	
Tebal <i>sheel</i>	1/3 in
Tebal <i>head</i>	1/3 in
Jenis isolasi	Asbestos
Tebal isolasi	0.0205 m
Pendingin	
Suhu masuk	30 °C
Suhu keluar	50 °C
Tebal jaket	6 in
Jumlah	1

Harga	US\$290.448	
<b>Vaporizer (VAP – 01)</b>		
Tugas	Menguapkan Cl <sub>2</sub> hasil bawah SD- 01 sebanyak 2.683,3 kg/jam	
Tipe	<i>Double pipe</i>	
Jumlah	1 buah	
Kondisi Operasi		
Arus dingin	Cl <sub>2</sub>	
Suhu arus dingin masuk	-1,1 °C	
Suhu arus dingin keluar	-1,1 °C	
Arus panas	Air	
Suhu arus panas masuk	50 °C	
Suhu arus panas keluar	30 °C	
<i>Flowrate</i> arus panas	568,9 kg/jam	
Tekanan HE	3,4 atm	
Spesifikasi alat		
Annulus	OD 2,38 in (sch 40), 12 panjang ft, 7 buah	
Shell	OD 1,66 in (sch 40)	
Ud	99,98 Btu/j ft <sup>2</sup>	
A	73,02 ft <sup>2</sup>	
ΔP	0,1225 psi	
Harga	US\$248.956	
<b>Heat Exchanger</b>		
	<b>HE-01</b>	<b>HE-02</b>
Tugas	Memanaskan uap Cl <sub>2</sub> sebanyak 2.576,1 kg/jam dan	Memanaskan uap Cl <sub>2</sub> sebanyak 2.576,1 kg/jam dan mendinginkan

	mengembangkan hasil keluaran reaktor sebanyak 3.165,5 kg/jam	produk $\text{PCl}_3$ sebanyak 3.165,5 kg/jam
Tipe	<i>Double Pipe</i>	<i>Double Pipe</i>
Jumlah	1 buah	1 buah
Kondisi Operasi		
Arus Panas	Hasil keluaran reaktor ( $\text{PCl}_3$ dan $\text{Cl}_2$ )	<i>Bottom produk MD-01</i>
Suhu arus panas masuk	90,00 °C	181 °C
Suhu arus panas keluar	60,69 °C	35,00 °C
Arus Dingin	$\text{Cl}_2$	$\text{Cl}_2$
Suhu arus dingin masuk	-1,1°C	23,38 °C
Suhu arus dingin keluar	23,38 °C	37,44 °C
Tekanan HE	3,3 atm	3,2 atm
Spesifikasi alat		
Annulus	OD 2,38 in (sch 40), panjang 12 ft, 1 buah	OD 2,38 in (sch 40), 12 panjang ft, 1 buah
Shell	OD 1,66 in (sch 40)	OD 1,66 in (sch 40)
Ud	99,98 Btu/j ft <sup>2</sup> F	100 Btu/j ft <sup>2</sup> F
A	1.80 ft <sup>2</sup>	7,25 ft <sup>2</sup>
$\Delta P$	0,81 psi	0,75 psi
Harga	US\$2.821	US\$3.153
<b>Heater</b>		
	<b>H-01</b>	<b>H-02</b>
Tugas	Memanaskan uap $\text{Cl}_2$ sebanyak 2.576,1	Memanaskan $\text{P}_4$ sebanyak 713,9 kg/jam sebagai umpan rektor

	kg/jam sebagai umpan reactor	
Tipe	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Jumlah	1 buah	1 buah
Kondisi operasi		
Arus panas	<i>Saturated steam</i>	<i>Saturated steam</i>
Suhu arus panas masuk	200 °C	200 °C
Suhu arus panas keluar	200 °C	200 °C
<i>Flowrate</i> arus panas	191.5 kg/jam	6,40 kg/jam
Arus dingin	Cl <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>
Suhu arus dingin masuk	37,4 °C	70 °C
Suhu arus dingin keluar	90 °C	90 °C
Tekanan HE	3,2 atm	1,3 atm
Spesifikasi alat		
Annulus	OD 3 in (sch 40), panjang 16 ft, 1 buah	OD 3 in (sch 40), panjang 12 ft, 1 buah
Shell	OD 2 in (sch 40)	OD 2 in (sch 40)
Ud	99,98 Btu/j ft <sup>2</sup> °F	100 Btu/j ft <sup>2</sup> °F
A	2,43 ft <sup>2</sup>	0.13 ft <sup>2</sup>
ΔP	0,07 psi	0,01 psi
Harga	US\$2.987	US\$2.987
<b>Condenser-01 (CD – 01)</b>		
Tugas	Mengembunkan hasil atas MD-01 sebanyak 67,3820 kg/jam	
Tipe	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>	
Jumlah	1 buah	
Kondisi operasi		

Arus panas	Hasil atas MD-01
Suhu arus panas masuk	85,4 °C
Suhu arus panas keluar	42 °C
Arus dingin	<i>Cooling water</i>
Suhu arus dingin masuk	30 °C
Suhu arus dingin keluar	50 °C
<i>Flowrate</i> arus dingin	125,8 kg/jam
Tekanan HE	10,95 atm
Spesifikasi alat	
Annulus	OD 2 in (sch 40), panjang 16 ft, 2 buah seri
Shell	OD 1,24 in (sch 40)
Ud	87,2 btu/j ft <sup>2</sup> °F
A	4,1 ft <sup>2</sup>
ΔP	0,0008 psi
Harga	US\$6.639
<b>Reboiler-01 (RB – 01)</b>	
Tugas	Menguapkan sebagian hasil bawah MD-01 sebanyak 3224 kg/jam
Tipe	<i>Kettle reboiler</i>
Jumlah	1 buah
Kondisi operasi	
Arus panas	<i>Saturated steam</i>
Suhu arus panas masuk	200 °C
Suhu arus panas keluar	200 °C
<i>Flowrate</i> arus panas	429,4 kg/jam
Arus dingin	hasil bawah MD-01



Suhu arus dingin masuk	180,2 °C	
Suhu arus dingin keluar	181,8 °C	
Tekanan HE	11,05 atm	
Spesifikasi alat		
Annulus	OD 2,88 in (sch 40), panjang 12 ft, 1 buah seri	
Shell	OD 1,66 in (sch 40)	
Ud	100 btu/j ft <sup>2</sup> °F	
A	103,1 ft <sup>2</sup>	
ΔP	0,009 psi	
Harga	US\$1.809	
<b>Separator Drum</b>		
	<b>SD-01</b>	<b>SD-02</b>
Tugas	Memisahkan Cl <sub>2</sub> <i>liquid</i> sebanyak 2.236,1 kg/jam dari Valve-01	Memisahkan PCl <sub>3</sub> <i>liquid</i> hasil reaktor sebanyak 3224,1 kg/jam keluaran HE-01
Jenis alat	<i>Horizontal Knock Out Drum</i>	<i>Horizontal Knock Out Drum</i>
Jumlah alat	1	1
Kondisi operasi		
Tekanan	3,5 atm	1,3 atm
Suhu	-1,1 °C	60,69 °C
<i>Liquid space</i>	70% <i>full drum</i>	70% <i>full drum</i>
<i> Holding time</i>	10 menit	5 menit
Diameter	0,6 m	0,5 m
Panjang	2,7 m	2,5 m
Tebal <i>vessel</i>	0,1875 in	0,1875 in

Jenis head	<i>Torispherical Dished Head</i>	<i>Torispherical Dished Head</i>
Tebal head	0,3125 in	0,3125 in
Tinggi head	5,3 in	5,3 in
Harga	US\$149.374	US\$16.179
<b>Valve</b>		
	<b>VLV-01</b>	<b>VLV-02</b>
Tugas	Menurunkan tekanan bahan baku Cl <sub>2</sub> sebanyak 2.576,1 kg/jam dari 10,5 atm menjadi 3,5 atm	Menurunkan tekanan produk PCl <sub>3</sub> sebanyak 3.048,5 kg/jam dari 6 atm menjadi 1,1 atm
Tipe	JT valve	JT valve
Jumlah	1 buah	1 buah
Kondisi operasi		
Suhu masuk	35 °C	181,81 °C
Suhu keluar	-1,1 °C	179,30 °C
Tekanan masuk	10,5 atm	11,5 atm
Tekanan keluar	3,5 atm	1,1 atm
Diameter pipa		
Pemasukan		
NPS	1,25 in	1,5 in
ID	1,382 in	1,61 in
OD	1,66 in	1,9 in
Sch	40	40
Harga	US\$2.821	US\$2.821
<b>MELTER-01</b>		

Tugas	Mencairkan bahan baku P <sub>4</sub> sebanyak 713,9 kg/jam	
Jenis	Silinder tegak, tutup ellipsoidal, alas datar	
Material Kontruksi	<i>Carbon steel, SA-283, Grade C</i>	
Kondisi Operasi		
Tekanan	1,3 atm	
Suhu	70 °C	
Volume	2,5 m <sup>3</sup>	
Diameter	0,6 m	
Tinggi <i>Shell</i>	0,96 m	
Tinggi <i>head</i>	0,2 m	
Tebal <i>Shell</i>	1,3 in	
Spesifikasi koil		
A	1,2 ft <sup>2</sup>	
Ud	37,4 btu/hr.ft <sup>2</sup> .F	
Diameter	0,75 in	
Panjang koil	23,6 ft	
	<b>Scew Conveyer</b>	
	SC-01	SC-02
Tugas	Mengangkut bahan baku fosfor dari container menuju silo	Mengangkut bahan baku fosfor dari silo menuju melter
Material Kontruksi	<i>Stainless Steel SA-283 Grade C</i>	<i>Stainless Steel SA-283 Grade C</i>
Kondisi Operasi		
Tekanan	1,3 atm	1,3 atm
Suhu	30 °C	30 °C
Diameter	3 in	3 in
Putaran Maksimum	250 rpm	250 rpm
Putaran	50 rpm	50 rpm
Panjang	30 ft	30 ft

Power	0,05 Hp	0,05 Hp
Jumlah	1	1
Harga		
<b>Menara Distilasi-01 (MD-01)</b>		
Tugas	Memisahkan hasil yang keluar dari separator sebanyak 3.224,1 kg/jam menjadi hasil atas sebanyak 66,8 kg/jam dan hasil bawah sebanyak 3.157,2 kg/jam	
Jenis	<i>Packed column</i> dengan bahan isian <i>ceramic rasching rings</i>	
Kondisi operasi	69,9 °C – 180,2 °C, 11,5 atm	
Spesifikasi		
Kolom		
Diameter	0,36 m	
Tinggi	8,87 m	
Tebal	1,25 in	
Bahan isian		
Jenis	<i>Rasching rings ceramic</i>	
Ukuran	13 mm	
<i>Surface area</i>	368 m <sup>2</sup> / m <sup>3</sup> isolator	
Jenis	Asbestos	
Tebal	0,2002 m	
Jumlah	1 buah	
Bahan	Stainless steel AISI 316	
Harga	US\$164.3	
<b>Pompa</b>		
	<b>P-01</b>	<b>P-02</b>

Tugas	Mengalirkan bahan baku Cl <sub>2</sub> ke T-01 sebanyak 2.576,1 kg/jam	Mengalirkan Cl <sub>2</sub> hasil bawah SD-01 dan Cl <sub>2</sub> yang tidak menguap ke VAP-01 sebanyak 447,2 kg/jam
Lama pengisian	7 jam	
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
Jumlah	3	1
Power pompa	2,3 hp	0,0833 hp
Kondisi operasi		
<i>Suction</i>		
Tekanan	10,5 atm	3,5 atm
Suhu	35 °C	-1,1 °C
<i>Discharge</i>		
Tekanan	10,5 atm	3,5 atm
Suhu	35 °C	-1,1 °C
Kapasitas	15,8 m <sup>3</sup> /jam	0,4 m <sup>3</sup> /jam
Head Pompa	2,4 meter	3,4 meter
<i>Spesific speed</i>	5.596,3 rpm	631.4 rpm
Jenis motor	Induksi	Induksi
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Jumlah kutub	2	2
Harga	US\$ 8.299	US\$ 8.011
	<b>P-03</b>	<b>P-04</b>
Tugas	Mengalirkan bahan baku P <sub>4</sub> dari T-02 ke reaktor sebanyak 715,2	Mengalirkan produk PCl <sub>3</sub> dari SD-02 ke MD-01 sebanyak 3.224,1 kg/jam

	kg/jam	
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
Jumlah	1	1
Power pompa	0,25 hp	0,75 hp
Kondisi operasi		
<i>Suction</i>		
Tekanan	1,3 atm	1,3 atm
Suhu	90 °C	60,7 °C
<i>Discharge</i>		
Tekanan	1,3 atm	11,5 atm
Suhu	90 °C	61,4 °C
Kapasitas	0,4 m <sup>3</sup> /jam	2,6 m <sup>3</sup> /jam
Head Pompa	7,7 meter	12,6 meter
<i>Spesific speed</i>	384,5 rpm	663,1 rpm
Jenis motor	Induksi	Induksi, 3 <i>stage</i>
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Jumlah kutub	2	2
Harga	US\$ 8.299	US\$ 8.299
	<b>P-05</b>	<b>P-06</b>
Tugas	Mengalirkan cairan dari AC-01 sebagai refluks ke MD-01 dan distilat sebanyak 67,4 kg/jam	Mengalirkan PCl <sub>3</sub> hasil bawah MD dari RB-01 ke HE-02 sebanyak 3.088,6 kg/jam
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
Jumlah	1	1
Power pompa	0,05 hp	0,125 hp
Kondisi operasi		

<i>Suction</i>		
Tekanan	11,5 atm	11,5 atm
Suhu	42 °C	181,8 °C
<i>Discharge</i>		
Tekanan	11,5 atm	11,5 atm
Suhu	42 °C	181,8 °C
Kapasitas	0,1 m <sup>3</sup> /jam	2,4 m <sup>3</sup> /jam
<i>Head Pompa</i>	0,2 meter	0,04 meter
<i>Spesific speed</i>	234,1 rpm	3.516,4 rpm
Jenis motor	Induksi	Induksi
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Jumlah kutub	2	2
Harga	US\$ 8.299	US\$ 8.299

### 3.3. Perencanaan Produksi

#### 3.3.1. Kapasitas Perancangan

Pemilihan kapasitas prarancangan didasarkan pada kebutuhan fosfor triklorida di Indonesia yang mengalami peningkatan dari tahun ke tahun sebagai bahan baku pembuatan pestisida, surfaktan, aditif plastik, minyak pelumas dan aditif cat.

Dikarenakan pabrik fosfor triklorida belum ada yang berdiri di Indonesia, maka pabrik fosfor triklorida ini akan didirikan dengan kapasitas 25.000 ton/tahun.

#### 3.3.2. Analisis Kebutuhan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan fosfor triklorida adalah fosfor dan klorin. Bahan baku fosfor diperoleh dari Novodzambul Phophorus Plant (NDFZ)

Zhambyl, Kazaghtan. Sedangkan bahan baku klorin diperoleh dari PT. Asamihas Chemical, Cilegon.

**Tabel 3.1. Data Kebutuhan dan Ketersediaan Bahan Baku**

<b>Komponen</b>	<b>Kebutuhan (ton/tahun)</b>	<b>Ketersediaan Bahan (ton/tahun)</b>
Fosfor	5.654,41	120.000
Klorin	20.402,78	22.000

Dari table diatas, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan bahan baku pabrik dapat terpenuhi, sehingga ketersediaan bahan baku aman untuk proses produksi.

### **3.3.3. Analisis Kebutuhan Alat Proses**

Analisis kebutuhan alat proses meliputi kemampuan alat proses, umur alat beserta perawatannya. Dengan menganalisis kebutuhan alat proses, maka diketahui anggaran yang diperlukan mulai dari pembelian hingga perawatannya.