

## **BAB III**

### **PERANCANGAN PROSES**

#### **3.1 Uraian Proses**

##### **3.1.1 Tahap Persiapan Bahan Baku**

*Terephthalate acid* (PTA) yang berbentuk bubuk diangkut dari silo penyimpanan *terephthalate acid* dengan menggunakan *belt conveyor* untuk dimasukkan ke dalam tangki pencampur. Bersamaan dengan itu dimasukkan juga *ethylene glycol* (EG) dari tangki penyimpanan *ethylene glycol* yang dialirkan dengan menggunakan pompa.

Rasio molar antara *terephthalate acid* dengan *ethylene glycol* yang akan masuk ke dalam reaktor adalah 1:2. Slurry EG yang dikalikan dari tangki penyimpanan dialirkan ke HE untuk menaikkan suhu *slurry* dari 30 °C ke suhu 250<sup>0</sup>C. HE yang keluar dari HE dengan suhu 250 °C dialirkan ke reaktor esterifikasi dengan menggunakan pompa. Selanjutnya dan PTA (*Terephthalate acid*) dan katalis *antimony trioxide* (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang berasal dari silo penyimpanan dicampurkan ke dalam reaktor esterifikasi.

##### **3.1.2 Tahap Reaksi**

###### **1) Reaksi Pembentukan**

pada reaksi pembentukan PET (polietilenterephtalat) merupakan *step-growth polymerization* adanya bentuk yang sama yaitu

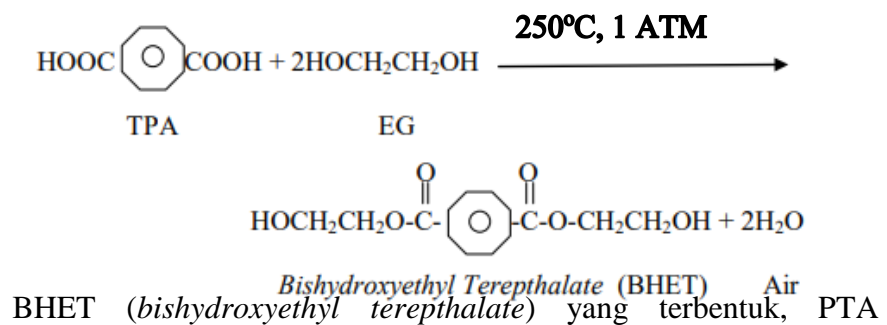
pada polimer yang terbentuk dimana pada masing-masing polimer tersebut terdapat dua rantai monomer yang diapit oleh gugus sejenis. Oleh karenanya reaksi ini dikategorikan sebagai *step-growth polymerization* tipe A-A/B-B. (Rochmadi dan Ajar Permono, 2015). Pada *step-growth polymerization*, jika konversi 90% → DP=10, 95% → DP=20, 99% → DP=100 (Ki-Young Yoon, 2014).

Dalam reaktor esterifikasi yang dilengkapi dengan pengaduk ini berlangsung proses esterifikasi langsung yaitu terbentuknya gugus isomer dari reaksi antara PTA dan EG dengan konversi *terephthalate acid* sebesar 90 %. Reaksi ini merupakan bentuk dari reaksi kondensasi pada kinetika polimerisasi *step-growth* yang dipakai untuk membentuk polietilen tereftalat (polymerdatabase.com, 2015). Hasil yang diperoleh dari reaksi tersebut adalah *bishydroxyethyl terephthalate* (BHET), air (H<sub>2</sub>O) dan *terephthalate acid* (PTA) yang tidak bereaksi..

Ketika asam tereftalat dan etilen glikol dipanaskan dengan pengaruh katalis kimia berupa antimon trioksida, etilen tereftalat terbentuk dalam bentuk monomer. Dengan kata lain, etilen glikol adalah *diol*, sebuah *alcohol* dengan struktur molekul yang mengandung dua gugus *hydroxyl*. Sedangkan asam tereftalat adalah *dicarboxylic aromatic acid*, yaitu asam dengan struktur molekul yang mempunyai cincin karbon dengan enam sisi dan dua gugus *carboxyl* (CO<sub>2</sub>H) (Britannica, 2009).

Pada reaktor ini, reaksi berjalan secara eksotermis. Kondisi operasi reaktor esterifikasi ini pada temperatur 250<sup>0</sup>C dan tekanan 1 atm (M.

Minárik and Z. Šír. 1975) Uap air dan *ethylene glycol* yang keluar dari reaktor esterifikasi mempunyai temperatur 250<sup>0</sup>C dialirkan menuju unit *recycle*.

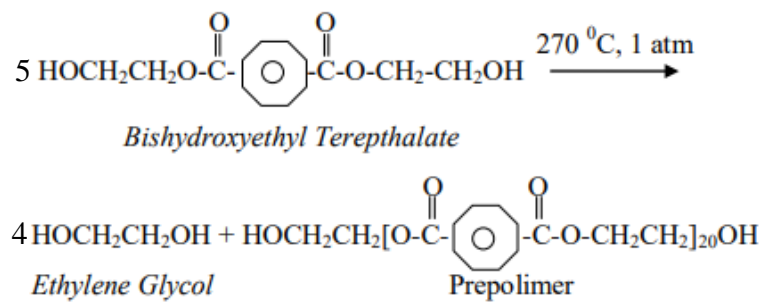


(*terephthalate acid*) yang tidak bereaksi dan katalis dialirkan dari bagian bawah reaktor esterifikasi ke reaktor prepolimerisasi dengan menggunakan pompa.

## 2) Proses Polimerisasi

Proses prepolimerisasi berlangsung dalam reaktor prepolimerisasi yang dilengkapi dengan pengaduk pada suhu 270<sup>0</sup>C dan tekanan 1 atm dengan konversi *bishydroxyethyl terephthalate* (BHET) sebesar 95 % .

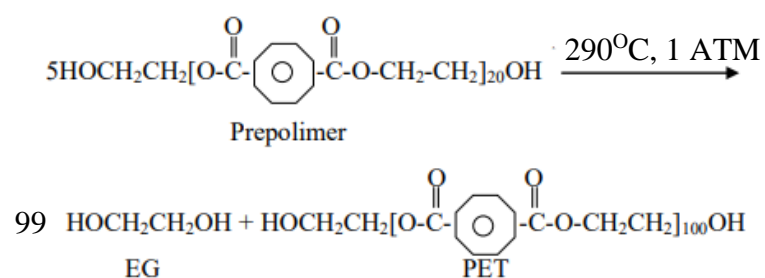
Pada R-02 terjadi reaksi polimerisasi, yakni menggabungkan monomer-monomer etilen tereftalat menjadi satu dengan pengikat gugus ester (CO-O) sebagai rantai kimianya menjadi rantai polimer yang panjang dimana konversi reaksi pada R-02 adalah 95%. Produk dari reaksi polimerisasi ini PET dengan derajat polimerisasi 20 atau PET20 (Patent, US3496146A) .



Sebagian uap EG dan air yang tidak bereaksi akan menguap dan dialirkan ke unit pengolahan lanjut. Selanjutnya monomer dari reaktor prepolimerisasi (R-02) yang terbentuk dialirkan ke reaktor polikondensasi (R-03) dengan menggunakan pompa (P-08).

### 3) Proses Polikondensasi

Pada proses polikondensasi akan terbentuk ikatan monomer - monomer menjadi polimer yang panjang dengan derajat polimerisasi yang semakin bertambah besar. Proses polikondensasi berlangsung pada temperatur  $290^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atm dengan konversi prepolimer sebesar 99 % dalam reaktor polikondensasi.



Pada proses ini uap *ethylene glycol* yang tidak bereaksi akan dialirkan ke unit pengolahan lanjut.

### 3.1.3 Tahap Pemisahan Produk

Cairan *polyethylene terephthalate* (PET) yang dihasilkan dari reaktor polikondensasi dialirkan menggunakan pompa ke *cooler* (1) untuk menurunkan suhu dari 290 °C menjadi 190 °C. Cairan dari *cooler* (1) di pompa ke *cooler* (2) untuk menurunkan suhu dari 190 °C ke suhu 90 °C.

Cairan yang suhunya sudah diturunkan menjadi 90 °C dipompa ke dalam *centrifuge* untuk dipisahkan dari katalis  $Sb_2O_3$  dan PTA sisa. Cairan kental *polyethylene terephthalate* yang keluar dari *centrifuge* (CF-01) dibawa menggunakan *screw conveyor* (SC-01) ke kristalizer (CR-01) untuk mengkristalkan PET 100. kemudian kristal beserta *mother liquor* (PET 20/prepolimer) akan dibawa menggunakan *screw conveyor* (SC-02) ke *centrifuge* (CF-02) untuk memisahkan PET 100 dari prepolimer (PET20) sebelum dikeringkan menggunakan *Rotary Dyer* (RD-01) PET kristal diangkut menuju ke tangki penyimpanan dengan menggunakan *screw conveyor*.

Perbandingan Proses :

Proses 1 : Polietilen Tereftalat dari asam tereftalat dan etilen glikol

Proses 2 : Polietilen Tereftalat dari Transesterifikasi *DimethylTereftalat*

Tabel 3.1 Perbandingan Proses

Parameter	Proses 1	Proses 2
<i>Pressure</i>	1 atm	1 atm
<i>Temperature</i>	250-290 °C	270-290°C

<b>Parameter</b>	<b>Proses 1</b>	<b>Proses 2</b>
Konversi	0,99	0,95
Hasil samping	EG + H <sub>2</sub> O	metanol

### 3.2 Spesifikasi Alat Proses

#### 1) Silo Penyimpanan PTA (SL-01)

Tugas : Menyimpan bahan baku Asam Tereftalat  
selama 1 minggu sebanyak 2.267.664,4901  
kg/7 hari

Kondisi penyimpanan : Atmosferik, suhu perancangan 30 °C

Jenis : Tangki silinder tegak dengan bagian bawah  
berbentuk *cone* 60°

Ukuran : Volume : 516.095,71 m<sup>3</sup>

Tinggi : 16 m

Diameter : 10,6 m

Bahan : *Carbon Steel & API*

Tebal *shell* : 3/8 in

Tebal *head* : 7/16 in

Jumlah : 1 buah

Harga : \$ 6.075

**2) Tangki Penyimpanan EG (SL-02)**

Tugas : Menyimpan bahan baku cairan Etilen Glikol  
sebanyak 1.728.138,620 kg/7 hari

Kondisi penyimpanan : Atmosferik, suhu perancangan 30 °C

Jenis : *Vert, Coon Roof, Flat Bot, Field Fab*

Ukuran : Volume : 1876,744 m<sup>3</sup>

Tinggi : 13,716 m

Diameter : 12,8021 m

Bahan : *Carbon Steel & API*

Tebal *Shell* : 1/2 in

Tebal *Head* : 5/8 in

Jumlah : 1 buah

Harga : \$ 12,509

**3) Silo Penyimpanan Katalis (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (SL-03)**

Tugas : Menyimpan bahan baku bubuk Antimoni  
Trioksida sebanyak 170,367.5645 kg/7 hari

Kondisi Penyimpanan : Atmosferik, suhu perancangan 30 °C

Jenis : *Vert, Coon Roof, Flat Bot, Field Fab*

Ukuran : Volume : 38.2744 m<sup>3</sup>  
 Tinggi : 4,52 m  
 Diameter : 3.01 m

Bahan : *Carbon Steel & API*

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Jumlah : 1 buah

Harga : \$ 6,075

#### 4) Silo Penyimpanan PET (SL-04)

Tugas : Menyimpan bahan baku padatan kristal  
 Polietilen Tereftalat sebanyak  
 2.121.212,1212kg/7 hari

Kondisi Penyimpanan : Atmosferik, suhu perancangan 30 °C

Jenis : *Vert, Coon Roof, Flat Bot, Field Fab*

Ukuran : Volume : 501.732,17 m<sup>3</sup>  
 Tinggi : 15,9 m  
 Diameter : 10,6 m

Bahan : *Carbon Steel SA 283 Grade D*

Tebal *shell* : 3/8 in



Tebal *head* : 7/16 in  
 Jumlah : 1 buah  
 Harga : \$ 120,804

#### 6) Pompa P-01

Tugas : Mengalirkan cairan EG dari Silo sebanyak  
 10286.539 kg/jam  
 Jenis : Pompa Sentrifugal  
 Kapasitas : 47.238 gpm  
 Ukuran pipa : ID = 2,47 in  
 Sch N = 40  
 NPS = 2,5 in  
 Total head : 4,906 m  
 Motor penggerak : 0,3 Hp ; 2993.483 rpm  
 Bahan penggerak : *Cast Iron & API-610*  
 Jumlah : 1 pompa  
 Harga : \$ 5,200

#### 7) Pompa (P-02)

Tugas : Mengalirkan fluida dari EG menuju ke HE-02  
 sebanyak 10286.5394 kg/jam

Jenis	: Pompa Sentrifugal
Kapasitas	: 50,3201 gpm
Ukuran pipa	: ID = 2,47 in
	Sch N = 40
	NPS = 2,5 in
Total head	: 3.723 m
Motor penggerak	: 0,25 Hp ; 3799.730824 rpm
Bahan penggerak	: <i>Cast Iron &amp; API-610</i>
Jumlah	: 1 pompa
Harga	: \$ 5.200

### 8) Pompa (P-03)

Tugas	: Mengalirkan EG ke Reaktor-01 sebanyak 10.286.5394 kg/jam
Jenis	: Pompa Sentrifugal
Kapasitas	: 54,2093 gpm
Ukuran pipa	: ID = 2,47 in
	Sch N = 40
	NPS = 2,5 in
Motor penggerak	: 0,75 Hp ; 2078,095 rpm

Bahan penggerak : *Cast Iron & API-610*  
 Jumlah : 1 pompa  
 Harga : \$ 5.200

#### 10) Pompa (P-04)

Tugas : Mengalirkan *slurry* ke Reaktor 2 menuju ke  
 Reaktor 3 sebanyak 20.174,635 kg/jam

Jenis : Pompa *slurry*

Kapasitas : 74,9286 gpm

Ukuran pipa : ID = 4,03 in  
 Sch N = 40  
 NPS = 4 in

Motor penggerak : 1 Hp ; 2880,448 rpm

Bahan penggerak : *Cast Iron & API-610*

Jumlah : 1 pompa

Harga : \$ 7.900

#### 11) Pompa (P-05)

Tugas : Mengalirkan *slurry* ke Reaktor 3 sebanyak  
 19.333,7402 kg/jam

Jenis : Pompa *slurry*

Kapasitas	: 490,4187 gpm
Ukuran pipa	: ID = 6,02 in
	Sch N = 40
	NPS = 6 in
Motor penggerak	: 1 Hp ; 6829,875 rpm
Bahan penggerak	: <i>Cast Iron &amp; API-610</i>
Jumlah	: 1 pompa
Harga	: \$ 9700

## 12) Pompa (P-06)

Tugas	: Mengalirkan <i>slurry</i> dari reaktor-03 menuju ke <i>cooler</i> 1 sebanyak 15310,2743 kg/jam
Jenis	: Pompa <i>Slurry</i>
Kapasitas	: 49.0682 gpm
Ukuran pipa	: ID = 2,47 in
	Sch N = 40
	NPS = 2,5 in
Motor penggerak	: 0.25 Hp ; 2088.73927 rpm
Bahan penggerak	: <i>Cast Iron &amp; API-610</i>

Jumlah : 1 pompa

Harga : \$ 9.700

### 13) Pompa (P-07)

Tugas : Mengalirkan *slurry* menuju ke *cooler* -01 ke *cooler*-02 sebanyak 15.310,2743 kg/jam

Jenis : Pompa *slurry*

Kapasitas : 49.0682 gpm

Ukuran pipa : ID = 2,47 in

Sch N = 40

NPS = 2,5 in

Motor penggerak : 0,5 Hp ; 13.654,02 rpm

Bahan penggerak : *Cast Iron & API-610*

Jumlah : 1 pompa

Harga : \$ 9.700

### 14) Pompa (P-09)

Tugas : Mengalirkan *slurry* dari *cooler*-02 ke *centrifuge* sebanyak 15.310,2743 kg/jam

Jenis : Pompa *slurry*

Kapasitas : 48,7446 gpm

Ukuran pipa : ID = 2,47 in

	Sch N	= 40
	NPS	= 2,5 in
Motor penggerak	:	0,5 Hp ; 3181.907992 rpm
Bahan penggerak	:	<i>Cast Iron &amp; API-610</i>
Jumlah	:	1 pompa
Harga	:	\$ 9700

### 15) Pompa (P-12)

Tugas	:	Mengalirkan EG menuju ke <i>separator</i> sebanyak 8847,233 kg/jam
Jenis	:	Pompa sentrifugal
Kapasitas	:	44,7009 gpm
Ukuran pipa	:	ID = 2,47 in Sch N = 40 NPS = 2,5 in
Total head	:	4,8154 m
Motor penggerak	:	0.25 Hp ;2952,988 rpm
Bahan penggerak	:	<i>Cast Iron &amp; API-610</i>
Jumlah	:	1 pompa
Harga	:	\$ 9,700

**16) Pompa (P-13)**

Tugas	: Mengalirkan EG dari <i>separator-01</i> menuju ke tanki penyimpanan sebanyak 5843,282 kg/jam
Jenis	: Pompa Sentrifugal
Kapasitas	: 28,5276 gpm
Ukuran pipa	: ID = 2,47 in Sch N = 40 NPS = 2,5 in
Motor penggerak	: 0.167 Hp ; 2596,007 rpm
Bahan penggerak	: <i>Cast Iron &amp; API-610</i>
Jumlah	: 1 pompa
Harga	: \$ 9700

**18) Heater (HE-01)**

Tugas	: Menaikan suhu larutan EG dan air sebelum masuk ke Reaktor-01 dari 30°C menjadi 120 °C dengan kebutuhan <i>steam</i> 1834.395 Kg/Jam
Beban panas	: 2.579.159.366 kJ
Jenis	: <i>Double pipe heat exchanger</i>
Luas perpindahan panas:	136.2069 ft <sup>2</sup>

Ukuran alat : *Inner pipe* : OD = 3,5 in  
 ID = 3,07 in  
*Annulus* : OD = 4,5 in  
 ID = 4,03 in

Bahan : *Carbon steel SA 283 Grade C*

Jumlah : 1 buah

Harga : \$ 10.136

#### 19) *Heater* (HE-02)

Tugas : Menaikkan suhu larutan campuran ,EG dan air keluar dari HE-01 sebelum masuk ke Reaktor-01 120°C menjadi 250°C dengan kebutuhan *steam* 1738.386 kg/jam

Beban panas : 2444171.414 kJ

Jenis : *Double pipe heat exchanger*

Luas perpindahan panas: 150.3638 ft<sup>2</sup>

Ukuran alat : *Inner pipe* : OD = 3,5 in  
 ID = 3,07 in  
*Annulus* : OD = 4,5 in  
 ID = 4,07 in



Bahan	: <i>Carbon steel SA 283 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Harga	: \$ 10,136

## 20) Reaktor Esterifikasi (R-01)

Tujuan	: Mereaksikan PTA dan EG dengan katalis Antimoni Trioksida
Jenis	: <i>Jacket, Agitated</i>
Diameter	: 4,016 m
Tinggi	: 4,016 m
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
Tebal <i>Head</i>	: 3/16 in
Fase	: Padatan dan cair
Katalis	: Antimoni Trioksida (Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Suhu Reaktor	: 250 °C
Tekanan	: 1 atm
Bahan	: <i>Carbon Steel</i>
Harga	: \$ 102.100

**21) Reaktor Prepolikondensasi (R-02)**

Tujuan	: Mereaksikan BHET dengan PTA dengan katalis Antimoni Trioksida
Jenis	: <i>Jacket, Agitated</i>
Diameter	: 3.2039 m
Tinggi	: 4.2039 m
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
Tebal <i>Head</i>	: 3/16 in
Fase	: Padatan dan cair
Katalis	: Antimoni Trioksida (Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Suhu Reaktor	: 270 °C
Tekanan	: 1 atm
Bahan	: <i>Carbon Steel</i>
Harga	: \$ 733,600

**22) Reaktor Polikondensasi (R-03)**

Tujuan	: Mereaksikan PET20 dengan BHET dan PTA
Jenis	: <i>Jacket, Agitated</i>
Diameter	: 8.429 m

Tinggi	: 9.429m
Tebal <i>shell</i>	: 3/16 in
Tebal <i>Head</i>	: 3/16 in
Fase	: Padatan
Katalis	: Antimoni Trioksida (Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Suhu Reaktor	: 290°C
Tekanan	: 1 atm
Bahan	: <i>Carbon Steel</i>
Harga	: \$ 2,017,500

### 23) Cooler (CL-01)

Tugas	: Mendinginkan fluida keluaran Reaktor 3 dari suhu 290°C menjadi 190 ° C
Beban panas	: 3444361.10 kJ/jam
Jenis	: <i>Shell and tube</i>
Luas perpindahan panas:	102.5096812 ft <sup>2</sup>
Ukuran alat	: <i>Tube</i> : OD = 3/4 in
	BWG = 18
	Jumlah pipa = 160

Panjang = 16 in

*Passes* = 2

*Shell* : ID = 15 ¼ in

*Passes* = 1

Bahan : *Carbon stell*

Harga : \$ 4531

#### 24) Cooler (CL-02)

Tugas : Mendinginka fluida keluaran dari Cooler 1 dari suhu 190°C menjadi 90°C

Beban panas : 845216.75 kJ/jam

Jenis : *Shell and tube*

Luas perpindahan panas: 41.90649877 ft<sup>2</sup>

Ukuran alat : *Tube* : OD = 3/4 in

BWG = 18

Jumlah pipa = 160

Panjang = 16 in

*Passes* = 2

*Shell* : ID = 15 ¼ in

*Passes* = 1

Bahan : *Carbon stell*

Harga : \$ 4531

### 25) Cooler (CL-03)

Tugas : Mendinginkan fluida keluaran dari Dekanter  
dari suhu 90°C menjadi 40°C

Beban panas : 1162387,78 kJ/jam

Jenis : *Shell and tube*

Luas perpindahan panas: 156.7114381 ft<sup>2</sup>

Ukuran alat : *Tube* : OD = ¾ in

BWG = 18

Jumlah pipa = 160

Panjang = 16 in

*Passes* = 2

*Shell* : ID = ¾

*Passes* = 1

Bahan : *Carbon stell*

Harga : \$ 1,667

Harga : \$ 1,667

**26) Bucket Elevator (BE-01)**

Tugas	: Memindahkan PTA dari Silo 1 menuju ke Slurry Tank 1
Panjang Elevasi	: 49,21
Jenis	: Bucket 6x4
Harga	: \$ 18,227

**27) Belt Conveyor (BC-01)**

Tugas	: Memindahkan Katalis dari Silo menuju ke Reaktor 1
Jenis	: Belt closed
Panjang	: 8,9 ft
Harga	: \$ 3,913

**28) Belt Conveyor (BC-01)**

Tugas	: Memindahkan Katalis dari Silo menuju ke Reaktor 1
-------	--------------------------------------------------------

Jenis : Belt closed

Panjang : 8,9 ft

Harga : \$ 3.913

### 29) Screw Conveyor (SC-01)

Tugas : mengangkut PET dari *centrifuge* (CF-01)  
menuju kristalizer (CR-01)

Jenis : *screw conveyor* dengan *gate feeder*

Panjang : 65,3 ft

Harga : \$ 27.401

### 30) Screw Conveyor (SC-02)

Tugas : mengangkut PET dari kristalizer CR-01  
menuju Centrifuge (CF-02)

Jenis : *screw conveyor* dengan *gate feeder*

Panjang : 65,3 ft

Harga : \$ 27.401

### 31) Screw Conveyor (SC-03)

Tugas : mengangkut PET Centrifuge (CF-02) menuju  
Rotary Dryer (RD-03)

Jenis : *screw conveyor* dengan *gate feeder*

Panjang : 65,3 ft

Harga : \$ 27,401

### 32) Screw Conveyor (SC-04)

Tugas : mengangkut PET dari rotary Dryer (RD-03)  
menuju silo penyimpanan (SL-03)

Jenis : *screw conveyor* dengan *gate feeder*

Panjang : 65,3 ft

Harga : \$ 27.401

### 33) Centrifuge (CF-01)

Tugas : Memisahkan katalis ( *Antimony Trioksida* )  
dengan komponen lain.

Jenis : *decanter centrifuge*

Bahan Centrifuge : *Stainless steell*

Diameter : 30 in

Kecepatan putar : 2700

Kapasitas : 0,19 in

Padatan : 3 s/d 15 ton/jam

Cairan : 350.000 gal/menit

Harga : \$ 50.000

### 34) Centrifuge (CF-01)

Tugas : Memisahkan Kristal PET100 dengan



*mother liquor (PET20)*

Jenis	: <i>decanter centrifuge</i>
Bahan Centrifuge	: <i>Stainless steell</i>
Diameter	: 30 in
Kecepatan putar	: 2700
Kapasitas	: 0,19 in
Padatan	: 3 s/d 15 ton/jam
Cairan	:350,000 galon/menit
Harga	: \$ 50.000

**35) Kristalizer (KR-01)**

Tugas	: Mengkristalkan PET100 dari <i>Centrifuge</i>
Jenis	: <i>Circulating liquor Crystallizer tipe Swenson-Walker</i>
waktu tinggal	: 11,1111 menit
diameter	: 0,6096 m
volume	: 2253,9788 liter
panjang	: 6,7960 m
bahan	: <i>Stainless Stell</i>
Harga	: \$ 122.472

**36) Rotary Dryer (RD-01)**

Tugas	: Meringkan kristal PET 100 dari kristalizer
Jenis	: <i>Counter Current Direct Heat Rotary Drier</i>
Luas Permukaan	: 234,713 ft <sup>2</sup>
Harga	: \$ 181.875