

## BAB III

### PERANCANGAN PROSES

#### 3.1 Uraian Proses

##### a. Unit Penyimpanan Bahan Baku

Toluena dan amoniak merupakan bahan baku utama dalam pembuatan benzonitril. Toluena dalam fasa cair disimpan pada kondisi suhu 30 C dan tekanan 1 atm. Kondisi penyimpanan didasarkan pada sifat dari toluena yaitu berupa cairan pada suhu ruangan dan tekanan atmosfer. Berdasarkan kondisi tersebut toluena disimpan dalam tangki Flat Bottom Cylinder Tank Torispherical Dished Head (T-01). Ammonia disimpan pada suhu -33,5 C dan tekanan 1 atm (kondisi fasa cair). Kondisi tersebut didasarkan pada volume tangki penyimpanan akan lebih kecil jika ammonia berfasa cair jika dibandingkan pada fasa uap untuk massa ammonia yang sama. Selain itu penyimpanan amoniak pada suhu rendah lebih aman dibandingkan dengan penyimpanan suhu lingkungan dan tekanan 12 atm. Ammonia disimpan dalam tangki Flat Bottom Cylinder Tank Torispherical Roof dengan isolator dengan sistem refrigerasi. Kondisi penyimpanan bahan baku pada fasa cair juga mempertimbangkan proses selanjutnya yakni beroperasi pada tekanan 3 atm. Dengan memasukkan bahan baku dalam fasa cair akan lebih ekonomis daripada menaikannya pada fasa uap. Kedua bahan baku keluar dari tangki penyimpanan dinaikkan tekananya dengan menggunakan pompa P-03 dan P-04. Kemudian bahan baku diuapkan dalam vaporizer (V-01 dan V-02). Pada vaporizer, bahan baku diuapkan 80% dari massa total, hal ini untuk menjaga koefisien transfer panas pada fasa cair sehingga luas permukaan transfer panas yang dibuat vaporizer lebih kecil dibandingkan jika seluruh bahan baku diuapkan. Bahan baku yang masih cair dikembalikan ke vaporizer setelah dipisahkan di separator (SEP-01 dan SEP-02) sebagai arus *recycle* vaporizer.

Bahan baku oksigen diambil dari udara yang ditekan hingga 2 atm. Arus uap toluena, uap amoniak dan udara dilewatkan pada heater (HE-01) untuk dinaikkan suhunya.

b. Unit Sintesis Benzonitril

Kondisi ketiga arus masuk reaktor yaitu suhu 325 °C dan tekanan 3 atm (reaksi amoksidasi dan eksotermis). Reaktor yang digunakan untuk sintesis benzonitril merupakan *fixed bed reactor* yang beroperasi secara adiabatik. *Fixed bed reactor* dipilih karena katalis yang digunakan V-ti-O memiliki densitas yang tinggi, sehingga tidak memungkinkan untuk digunakan *fluidized bed reactor*. Arus keluar reaktor bersuhu 347,7 °C.

c. Unit Pemurnian Benzonitril

Produk benzonitril 99%. Arus keluar reaktor didinginkan melalui HE-01, HE-02 dan HE-03 hingga 100 °C. Arus tersebut kemudian dialirkan ke separator (SEP-03) untuk memisahkan fasa uap amoniak dan *non-condensable* gas (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub>) dengan fasa cair berupa benzonitril, toluena, air dan amoniak terlarut. Fasa uap masuk ke absorber A-01 untuk menyerap NH<sub>3</sub> menggunakan air, sedangkan gas yang tidak terserap dibuang melalui purge.

Fasa cair dipisahkan lebih lanjut pada decanter (D-01) dimana benzonitril dan toluena (fasa hidrokarbon) dipisahkan dari air dan amoniak terlarut (fasa cair). Fasa cair dicampur dengan hasil bawah A-01 kemudian masuk ke stripper (S-01). Sedangkan fasa hidrokarbon dipisahkan antara toluena dan benzonitril dengan menara distilasi (MD-01). Dari S-01, uap NH<sub>3</sub> dengan kemurnian cukup tinggi dikembalikan melalui inline sebagai arus *recycle*. Hasil bawah S-01 berupa air dan sangat sedikit amoniak dibuang sebagai limbah. Menara distilasi (MD-01) beroperasi pada suhu 130 ° tekanan 1,4 atm. Hasil atas MD-01 berupa toluena dan hasil bawah berupa benzonitril 99% yang kemudian masuk ke tangki penyimpanan T-03.

### 3.2 Metode Perancangan

Dalam pra rancangan pabrik benzonitril dari amoniak dan toluena ini variabel yang berpengaruh dalam metode perancangan pabrik yaitu neraca massa dan neraca panas.

#### 3.2.1 Neraca Massa

Variabel yang berpengaruh dalam neraca massa antara lain:

1. Neraca massa Total
2. Neraca massa di Reaktor
3. Neraca massa di Separator Flash Drum
4. Neraca massa di Decanter
5. Neraca massa di Menara Distilasi
6. Neraca massa di Absorber
7. Neraca massa di Stripper

#### 1. NM Total

Tabel 3.1 Neraca Massa Total

Komponen	Masuk kg/jam	Keluar, kg/jam
Toluene	3783,80	5,63
Amoniak	633,17	8,27
Air	69003,18	71296,93
Benzonitrile	0	3783,80
N-Heptana	57,62	57,62
Oksigen	16246,31	13243,20
Nitrogen	53503,93	53503,92
C. Dioksida	0	1328,55
Total	143228,01	143228,01

## 2. Reaktor

Tabel 3.2 Neraca Massa di Reaktor (R-01)

Komponen	Masuk, kg/jam	Keluar, kg/jam
Nitrogen	30942,60	30942,60
Oksigen	9395,63	4061,40
C. Dioksida	0	2562,85
Amoniak	1875,26	832,64
N-Heptana	104,96	104,96
Air	32,60	3940,64
Toluene	6763,67	356,38
Benzonitrile	30,82	6343,95
Total	49145,54	49145,54

## 3. Separator

Tabel 3.3 Neraca Massa di Separator Flash Drum (S-03)

Komponen	Masuk kg/jam	Keluar atas kg/jam	Keluar bawah kg/jam
Nitrogen	30942,60	30942,60	0
Oksigen	4061,40	4061,40	0
C. Dioksida	2562,85	2562,8532	0
Amoniak	832,64	788,47	44,1727
N-Heptana	104,96	0,0323	104,9320
Air	3940,64	166,8976	3773,7415
Toluene	356,38	0,2646	356,1131
Benzonitrile	6343,95	2,2980	6340,9542
Total	49145,43	3825,52	10619,91
		49145,43	

#### 4. Decanter

Tabel 3.4 Neraca Massa di Decanter (DC-01)

Komponen	Masuk, kg/jam	Keluar atas, kg/jam	Keluar bawah, kg/jam
Amoniak	44,17	43,85	0,32
N-Heptana	104,93	97,59	7,35
Air	3773,74	3746,42	27,32
Toluene	356,11	0,57	355,55
Benzonitrile	6340,95	0,94	6340,01
Total	10619,91	3889,37	6730,54
		10619,91	

#### 5. Menara Distilasi

Tabel 3.5 Neraca Massa di Menara Distilasi (MD-01)

Komponen	Masuk, kg/jam	Keluar atas, kg/jam	Keluar bawah, kg/jam
Amoniak	0,32	0,32	0
N-Heptana	7,35	7,35	0
Air	27,32	27,29	0,0273
Toluene	355,55	351,99	3,56
Benzonitrile	6340,54	31,70	6308,31
Total	6730,54	418,65	6311,89
		6730,54	

## 6. Absorber

**Tabel 3.6** Neraca Massa di Absorber (ABS-01)

Komponen	Masuk umpan, kg/jam	Masuk penyerap, kg/jam	Keluar atas, kg/jam	Keluar bawah, kg/jam
Nitrogen	30942,60	0	30942,60	0
Oksigen	4061,40	0	4061,40	0
C. Dioksida	2562,85	0	2562,85	0
Amoniak	788,47	0	0,7885	787,68
N-Heptana	0,0323	0	0,0323	0
Air	166,90	27022,50	166,90	27022,50
Toluene	0,27	0	0,27	0
Benzonitrile	3,00	0	3,00	0
Total	38525,52	27022,50	37737,84	27810,18
	65548,02		65548,02	

## 7. Stripper

**Tabel 3.7** Neraca Massa di Stripper (STP-01)

Komponen	Umpan masuk kg/jam	Penyerap masuk kg/jam	Keluar atas kg/jam	Keluar bawah kg/jam
Nitrogen	0	30942,60	30942,60	0
Oksigen	0	9395,63	9395,63	0
C. Dioksida	0	0	0	0
Amoniak	831,53	0	823,22	8,32
N-Heptana	97,59	0	0	97,59
Air	30768,92	0	0	30768,92
Toluene	0,5661	0	0	0,57
Benzonitrile	0,9434	0	0	0,94
Total	31699,55	40338,23	41161,45	30876,33
	72037,78		72037,78	

### 3.2.2 Neraca Panas

#### 1. Reaktor

Tabel 3.8 Neraca Panas di Reaktor (R-01)

Komponen	Masuk kkal/jam	Keluar kkal/jam
Nitrogen	2331271,53	1723411,00
Oksigen	645118,62	204717,57
C. Dioksida	0	129204,94
Amoniak	317226,72	101482,07
N-Heptana	17250,57	11996,11
Air	4513,09	300828,80
Toluene	809391,54	29411,07
Benzonitrile	3252,42	466747,09
Subtotal	4128064,49	3067798,64
$\Delta H_R$	14971,49	0
Total	4143035,50	4143035,50

## 2. Separator

Tabel 3.9 Neraca Panas di Separator Flash Drum (S-03)

Komponen	Masuk kkal/jam	Keluar atas kkal/jam	Keluar bawah kkal/jam
Nitrogen	193134,92	193134,92	0
Oksigen	22537,74	22537,74	0
C. Dioksida	13584,71	13584,71	0
Amoniak	10567,49	10092,10	565,39
N-Heptana	1099,58	0,3387	1099,24
Air	44316,30	1876,93	42439,38
Toluene	2581,70	1,92	2579,78
Benzonitrile	42639,59	20,15	42619,44
Total	330552,03	241248,80	89303,23
		330552,03	

## 3. Decanter

Tabel 3.10 Neraca Panas di Decanter (DC-01)

Komponen	Masuk kkal/jam	Keluar atas kkal/jam	Keluar bawah kkal/jam
Amoniak	257,69	255,83	1,87
N-Heptana	297,69	276,85	20,84
Air	19466,81	19325,90	140,92
Toluene	750,96	1,19	749,77
Benzonitrile	13695,66	2,04	13693,62
Total	34468,82	19861,81	14607,01
		34468,82	



#### 4. Menara Distilasi

**Tabel 3.11** Neraca Panas di Menara Distilasi (MD-01)

Komponen	Masuk kkal/jam	Keluar atas kkal/jam	Keluar bawah kkal/jam
Amoniak	101.40	53.75	170.59
N-Heptana	693.00	463.81	952.43
Air	4196.62	2924.78	5608.73
Toluene	24318.01	16351.37	33017.14
Benzonitrile	432849.16	1447.11	597011.65
Total	483429.07	21240.805	636760.55
		658001.35	

Beban Reboiler = 237216.17 kkal/jam

Beban Condensor = 62643.89 kkal/jam

#### 5. Absorber

**Tabel 3.12** Neraca Panas di Absorber (ABS-01)

Komponen	Masuk umpan kkal/jam	Masuk penyerap kkal/jam	Keluar atas kkal/jam	Keluar bawah kkal/jam
Nitrogen	39502,02	0	39502,02	0
Oksigen	4602,14	0	4602,14	0
C. Dioksida	2757,43	0	2757,43	0
Amoniak	2051,56	0	2,05	2049,51
N-Heptana	0,07	0	0,0676	0
Air	383,47	139301,95	383,47	139301,95
Toluene	0,3800	0	0,3798	0
Benzonitrile	4,01	0	4,01	0
Total	49301,08	139301,95	47251,57	141351,46
	188601,03		188601,03	

## 6. Stripper

Tabel 3.13 Neraca Panas di Striper (STP-01)

Komponen	Masuk umpan kkal/jam	Masuk penyerap kkal/jam	Keluar atas kkal/jam	Keluar bawah kkal/jam
Nitrogen	0	39502,02	39502,02	0
Oksigen	0	1646,58	10646,58	0
C. Dioksida	0	0	0	0
Amoniak	4847,70	0	4799,22	48,48
N-Heptana	276,67	0	0	276,67
Air	158614,90	0	0	158614,90
Toluene	1,19	0	0	1,19
Benzonitrile	2,04	0	0	2,04
Total	163742,50	50148,59	54947,82	158943,28
	213891,09		213891,09	

### 1.3 Spesifikasi Alat

#### 1. Reaktor ( R-01)

Fungsi	: Mereaksikan gas amoniak dan toluene menjadi benzonitrile dengan bantuan udara.
Jenis	: <i>Fixed Bed Catalytic Reactor</i>
Fasa	: Gas
Bentuk	: Silinder tegak
Suhu masuk	: 325 °C
Suhu keluar	: 347°C
Tekanan udara	: 3 atm absolut
Tebal bed katalis	: 11,50 m
Jenis katalis	: V-Ti-O
Diameter katalis	: 0,0049 cm
Konversi Benzonitrile	: 0,833
Konversi CO2	: 0,11
Konversi Nitrogen	: 1,5969E-10
Tinggi reaktor	: 13,42 m
Diameter shell	: 3,30 m
Tebal dinding	: 7/16 in
Bahan konstruksi	: Carbon Steel SA-285 Grade C
Tebal isolasi	: 16,08 cm
Jumlah Reaktor	: 1 buah
Harga	: US\$ 221,000 (1 buah)

#### 2. Menara Distilasi ( MD-01 )

Fungsi	: Memisahkan Benzonitrile dari komponen lainnya agar memenuhi spesifikasi produk yang telah dipersyaratkan.
Jenis	: Plate tower, dengan sieve tray

Jumlah plate : 23 buah

Effisiensi menara : 59,7 %

#### Kondisi Operasi

- Puncak Menara
  - ◇ Suhu : 422,60 °C
  - ◇ Tekanan : 2,18 atm
- Bawah Menara
  - ◇ Suhu : 497,04 °C
  - ◇ Tekanan : 2,52 atm
- Umpan Menara
  - ◇ Suhu : 181,46 °C
  - ◇ Tekanan : 1,4 atm

#### Tray spacing

- Tinggi menara : 7,86 m
- Diameter menara : 1,22 m
- Tebal shell : 4,76 mm
- Jenis head : Torispherical dished head
- Tebal head : 6,35 mm
- Tebal isolator : 4,97 cm
- Pipa umpan : 2 in (IPS)
- Pipa atas menuju condensor : 6 in (IPS)
- Pipa refluks distilat : 1 in (IPS)
- Pipa pengeluaran bottom : 3,5 in (IPS)
- Pipa refluks bottom : 0,5 in (IPS)

#### Plate Spesification

- Jumlah Plate : 16 plate
- Plate ID : 1,22 m

- Hole size : 5 mm
- Hole pitch : 12,55 mm
- Active hole : 3684 buah
- Turn down : 0,8 max rate
- Plate material : Carbon Steel
- Downcomer material : Carbon Steel
- Plate spacing : 0,5 m
- Plate thickness : 5 mm
- Plate pressure drop : 81,52 mm liquid  
: 0,3471 atm

Jumlah : 1 buah

Harga : US\$ 210.000 (1 buah)

### 3. Menara Absorber (ABS-01)

Fungsi : Mengambil amoniak sisa hasil reaksi dari komponen gas lainnya untuk diumpankan kembali ke reaktor dengan pelarut air.

Suhu : 30 °C

Tekanan Udara : 1 atm

Tebal Packing : 11,58 m

Diameter menara : 1,016 m

Tinggi Menara : 14,08 m

Jenis Packing : Berl Saddles

Nominal Size : 1,5" (38 mm)

Metode Packing : Random

Bahan Konstruksi : Carbon steel SA-285 grade-C

Tebal dinding : 1/4 in

Jumlah Absorber : 2 buah

Harga : US\$ 40.000 (1 buah)

#### 4. Menara Stripper (STP-01)

Fungsi	: Mengambil amoniak yang berasal dari menara absorber dengan udara untuk kemudian bersama-sama diumpankan ke reaktor.
Suhu	: 70 °C
Tekanan Udara	: 1 atm
Tebal Packing	: 11,78 m
Diameter menara	: 1,1016 m
Tinggi Menara	: 17,13 m
Jenis Packing	: Berl Saddles
Nominal Size	: 1,5" (38 mm)
Metode Packing	: Random
Bahan Konstruksi	: Carbon steel SA-285 grade-C
Tebal dinding	: 3/16 in
Jumlah Stripper	: 2 buah
Harga	: US\$ 42.000 (1 buah)

#### 5. Tangki Penyimpanan Toluene ( T-01 )

Fungsi	: Menyimpan Toulene sebanyak 2771,26 m <sup>3</sup> untuk waktu 15 hari.
Jenis	: <i>Vertical Tank</i> dengan <i>Toispherical Dished Head</i>
Suhu	: 30 °C.
Tekanan	: 1 atm.
Kapasitas	: 1085,15 m <sup>3</sup>
Diameter	: 50 ft.
Panjang	: 24 ft
Tebal shell	: H = 24 ft, 3/8 in H = 16 ft, 1/4 in H = 8 ft, 3/16 in

Tebal head	: 3/16 in
Bahan	: Carbon steel SA-285 grade-C
Jumlah	: 3 buah
Harga	: US \$ 157,400 (1 buah)

#### 6. Tangki Penyimpanan Amoniak ( T-02 )

Fungsi	: Menyimpan Amoniak sebanyak 593,83 untuk waktu 15 hari.
Jenis	: <i>Vertical Tank</i> dengan <i>Toispherical Dished Head</i>
Suhu	: -33,5 °C
Tekanan	: 2 atm.
Kapasitas	: 712,59 m <sup>3</sup>
Diameter	: 40ft.
Tinggi	: 24 ft.
Tebal shell	: H = 24 ft, ¼ in H = 18 ft, ¼ in H = 12 ft, 3/16 in H = 6 ft, 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Bahan	: Carbon steel SA-285 grade-C
Jumlah	: 1 buah.
Harga	: US\$ 146,800 (1 buah)

#### 7. Tangki Penyimpanan Benzonitrile ( T-03 )

Fungsi	: Menyimpan produk Benzonitrile sebanyak 4500,25 m <sup>3</sup> untuk waktu 30 hari.
Jenis	: <i>Vertical Tank, Flat Bottom, Conical Roof</i>
Suhu	: 30 °C.
Tekanan	: 1 atm.

Kapasitas	: 1350,88 m <sup>3</sup>
Diameter	: 70 ft.
Panjang	: 24 ft
Tebal shell	: H = 24 ft, ¼ in H = 18 ft, ¼ in H = 8 ft, 1/14 in
Tebal head	: 1 in
Bahan	: Carbon steel SA-285 grade-C
Jumlah	: 1 buah.
Harga	: US\$ 160.700 (1 buah)

#### 8. Separator NH3 (S-01)

Fungsi	: Memisahkan campuran uap-cair bahan keluaran vaporizer sebanyak 1174,452 kg/jam
Jenis	: Silinder Vertikal, Torispherical Dished Head
Tekanan	: 3 atm
Suhu	: 101,67 °C
Bentuk	: <i>Vertical tank</i>
Bahan	: Carbon Steel SA 283 Grade C
Tebal shell	: 3/16 in
Jenis Head	: <i>Torispherical dished head</i>
Diameter	: 18 in : 0,46 m
Tinggi	: 56,86 in : 1,44 m
Nilai H/D	: 3,16
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 7.000 (1 buah)



### 9. Separator Toluene (S-02)

Fungsi	: Memanaskan dan menguapkan Toluene sebagai dari 41,06 °C menjadi 154,353 °C
Jenis	: Silinder Vertikal, Torispherical Dished Head
Tekanan	: 3 atm
Suhu	: 154,35 °C
Bentuk	: <i>Vertical tank</i>
Bahan	: Carbon Steel SA 283 Grade C
Tebal shell	: 3/16 in
Jenis Head	: <i>Torispherical dished head</i>
Diameter	: 24 in : 0,61 m
Tinggi	: 72,96 in : 1,85 m
Nilai H/D	: 3,04
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 7.000 (1 buah)

### 10. Separator Flash Drum (S-03)

Fungsi	: Memisahkan uap sebanyak 38523,52 kg/jam dan cairan sebanyak 10619,91 kg/jam yang berasal dari Reaktor.
Jenis	: <i>Flash Drum</i>
Tekanan	: 2 atm
Suhu	: 50°C
Bentuk	: <i>Vertical tank</i>
Bahan	: Carbon Steel SA 283 Grade C
Tebal shell	: 3/16 in

Jenis Head	: <i>Toispherical dished head</i>
Diameter	: 30 in : 0,76 m
Tinggi	: 112,91 in : 2,87 m
Nilai H/D	: 3,31
Jumlah	: 6 buah
Harga	: US\$ 9.900

#### 11. Accumulator (ACC-01)

Fungsi	: Memisahkan uap destilat sebanyak kg/jam dan cairan <i>reflux</i> sebanyak kg/jam yang berasal dari <i>top</i> menara destilasi.
Tekanan	: 2,18 atm
Suhu	: 149,45 °C
Bentuk	: <i>Horizontal Tank</i>
Bahan	: Carbon Steel SA 283 Grade C
Tebal shell	: 3/16 in
Jenis Head	: <i>Torispherical Dished Head</i>
Diameter	: 11,65 in : 0,29 m
Panjang	: 34,94 in : 0,89 m
Nilai L/D	: 3
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 400

#### 12. Decanter (DC-01)

Fungsi	: Memisahkan Hidrokarbon dengan Larutan
--------	---

	Amoniak yang keluar dari separator.
Tekanan	: 2 atm
Suhu	: 30 °C
Bentuk	: Silinder horizontal
Diameter	: 29,44 in : 0,75 m
Panjang	: 1,50 m
Bahan	: Stainless steel SA 205 grade C
Tebal shell	: 7/8 in
Jumlah	: 4 buah
Harga	: US\$ 10.300 ( 1 buah )

### 13. Blower 1 (BL-01)

Fungsi	: Menaikkan tekanan udara umpan stripper dari 1 atm menjadi 2 atm
Kapasitas	: 6,59 m <sup>3</sup> /det
Takanan isap	: 1 atm
Tekanan keluar	: 2 atm
$\eta_{ad}$	: 95 %
Jumlah	: 1
Penggerak	: motor sinkron
Power	: 980,51 Hp
Harga	: US\$ 18.000 (1 buah)

### 14. Blower 2 (BL-02)

Fungsi	: Menaikkan tekanan gas keluar stripper dari 2 atm menjadi 3 atm
Kapasitas	: 4,24 m <sup>3</sup> /det
Takanan isap	: 2 atm

Tekanan keluar	: 3 atm
$\eta_{ad}$	: 90 %
Jumlah	: 1
Penggerak	: motor sinkron
Power	: 648,11 Hp
Harga	: US\$ 16.000 (1 buah)

### 13. Vaporizer Toluene (V-01)

Fungsi : Memanaskan dan menguapkan toluene  
Dari 41,07 °C menjadi 154,353 °C.

Jenis : *Shell and tube Heat Exchanger*

*Shell*

- Jenis fluida : Toluene cair
- Diameter dalam : 15,25 in
- Jarak *baffle* : 7,625 in
- *Pressure drop* : 0,088 psi

*Tubes*

- Jenis fluida : Steam
- Diameter luar : 0,75 in
- BWG : 16
- *Pitch* : 1 in *square pitch*
- Panjang : 12 ft
- Jumlah pipa : 146 buah
- *Pressure drop* : 0,008 psi

Luas transfer panas : 343,33 ft<sup>2</sup>

Kebutuhan pemanas : 1458, 81 kg/jam

Faktor kotor total (Rd) : 0,0045

Bahan : *Carbon Steel SA-285 Grade C*

Jumlah : 1 buah  
 Harga : US\$ 20.300 ( 1 buah )

#### 14. Vaporizer Amoniak (V-02)

Fungsi : Memanaskan dan menguapkan amoniak dari  $-8,79^{\circ}\text{C}$  menjadi  $101,676^{\circ}\text{C}$  dengan pemanas steam.

Jenis : *Double Pipe Exchanger*

##### *Inner Pipe*

- Jenis fluida : Steam
- *Pressure drop* : 0,0981 psi

##### *Annulus*

- Jenis fluida :  $\text{NH}_3$
- *Pressure drop* : 8,13 psi

Luas transfer panas :  $48,33 \text{ ft}^2$   
 Kebutuhan pemanas : 492,340 kg/jam  
 Uc :  $32,52 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$   
 Ud :  $24,77 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$   
 Faktor kotor total (Rd) : 0,0096  
 Bahan : *Carbon Steel SA-285 Grade C*  
 Jumlah : 1 buah  
 Harga : US\$ 1.600 (1 buah)

#### 15. Vaporizer Hasil Atas Menara Distilasi (V-03)

Fungsi : Memanaskan dan menguapkan distilat dari  $131,93^{\circ}\text{C}$  menjadi  $149,60^{\circ}\text{C}$ .

Jenis : *Double Pipe Exchanger*

*Inner Pipe*

- Jenis fluida : Steam
- *Pressure drop* : 5,8056 psi

*Annulus*

- Jenis fluida : Campuran Multikomponen
- *Pressure drop* : 1,8949 psi

Luas transfer panas	: 19,689 ft <sup>2</sup>
Kebutuhan pemanas	: 41,906 kg/jam
Uc	: 112 Btu/jam ft <sup>2</sup> °F
Ud	: 100 Btu/jam ft <sup>2</sup> °F
Faktor kotor total (Rd)	: 0,004
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 1.200 (1 buah)

**16. Heater Umpan Reaktor (HE-01)**

Fungsi : Menaikkan suhu umpan reaktor dari  
55,596 °C menjadi 100 °C

Jenis : *Shell and tube Heat Exchanger*

*Shell*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter dalam : 25 in
- Jarak *baffle* : 22,5 in
- *Pressure drop* : 0,9962 psi

*Tubes*

- Jenis fluida : Steam
- Diameter luar : 0,75 in

- BWG : 16
- *Pitch* : 15/16 in *triangular pitch*
- Panjang : 16 ft
- Jumlah pipa : 506 buah
- *Pressure drop* : 0,3815 psi

Luas transfer panas	: 678,18 ft <sup>2</sup>
Kebutuhan Pemanas	: 1158,04 kg/jam
Faktor kotor total (Rd)	: 0,0359
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah.
Harga	: US\$ 38.000 (1 buah)

### 17. Heat Exchanger (HE-02)

Fungsi : Menaikkan suhu umpan reaktor dari 100 °C menjadi 180 °C sekaligus menurunkan suhu keluar reaktor dari 200°C menjadi 118°C dengan *heat integration*.

Jenis : *Shell and Tubes Heat Exchanger*  
*Shell*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter dalam : 33 in
- Jarak baffle : 16,5 in
- *Pressure drop* : 0,005 psi

*Tubes*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter luar : 0,75 in.
- BWG : 12
- Panjang : 12 ft.

- *Pitch* : 1 in *triangular pitch*
- Jumlah pipa : 1112 buah
- *Pressure drop* : 0,197 psi

Luas transfer panas : 2610,30 ft<sup>2</sup>

Faktor kotor total (Rd) : 0,0032

Bahan : *Carbon Steel SA-285 Grade C*

Jumlah : 1 buah

Harga : US\$ 119.300 (1 buah)

### 18. Heat Exchanger (HE-03)

Fungsi : Menaikkan suhu umpan reaktor dari 180°C menjadi 240°C sekaligus menurunkan suhu keluar reaktor dari 265°C menjadi 200°C dengan *heat integration*.

Jenis : *Shell and Tubes Heat Exchanger*

#### *Shell*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter dalam : 37 in
- Jarak baffle : 18,5 in
- *Pressure drop* : 0,003 psi

#### *Tubes*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter luar : 0,75 in
- BWG : 12
- Panjang : 12 ft
- *Pitch* : 1 in *square pitch*
- Jumlah pipa : 866 buah
- *Pressure drop* : 0,979 psi



Luas transfer panas	: 2043,82 ft <sup>2</sup>
Faktor kotor total (Rd)	: 0,0190
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 96.900 (1 buah)

### 19. Heat Exchanger (HE-04)

Fungsi : Menaikkan suhu gas umpan reaktor dari 240 °C menjadi 325 °C sekaligus menurunkan hasil reaktor dari 349 °C menjadi 265 °C dengan *heat integration*.

Jenis : *Shell and Tubes Heat Exchanger*

#### *Shell*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter dalam : 39 in
- Jarak baffle : 19,5 in
- *Pressure drop* : 0,009 psi

#### *Tubes*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter luar : 1 in
- BWG : 16
- Panjang : 16 ft
- *Pitch* : 1,25 in *triangular pitch*
- Jumlah pipa : 672 buah
- *Pressure drop* : 0,445 psi

Luas transfer panas	: 2134,72 ft <sup>2</sup>
Faktor kotor total (Rd)	: 0,0218
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 100.500 (1 buah)

## 20. Cooler Hasil Reaktor (HE-05)

Fungsi	: Mendinginkan dan mengembunkan gas hasil reaktor dari 118°C menjadi 50°C dengan pendingin air.
Jenis	: <i>Shell and tube Heat Exchanger</i>

### *Shell*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter dalam : 37 in
- Jarak *baffle* : 25,9 in
- *Pressure drop* : 0,019 psi

### *Tubes*

- Jenis fluida : Air
- Diameter luar : 0,75 in
- BWG : 18
- *Pitch* : 1 in *square pitch*
- Panjang : 16 ft
- Jumlah pipa : 886 buah
- *Pressure drop* : 2,67 psi

Luas transfer panas	: 2774,01 ft <sup>2</sup>
Kebutuhan Pendingin	: 45643,75 kg/jam
Faktor kotor total (Rd)	: 0,0159

Bahan	: <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 125.600 (1 buah)

## 21. Cooler Hasil Reaktor (HE-06)

Fungsi : Mendinginkan hasil reaktor dari 50 °C menjadi 30 °C dengan pendingin *brine* (Larutan NaCl 25 %).

Jenis : *Shell and tube*

### *Shell*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter dalam : 15,25 in
- Jarak *baffle* : 3,8 in
- *Pressure drop* : 1.397 psi

### *Tubes*

- Jenis fluida : Larutan *brine* (NaCl 25%)
- Diameter luar : 1 in
- BWG : 16
- *Pitch* : 1,25 in *triangular pitch*
- Panjang : 12 ft
- Jumlah pipa : 87 buah
- *Pressure drop* : 9,386 psi

Luas transfer panas : 204,117 ft<sup>2</sup>

Kebutuhan Pendingin : kg/jam

Faktor kotor total : 0,0021

Bahan : *Carbon Steel SA-285 Grade C*

Jumlah : 1 buah

Harga : US\$ 11.300 (1 buah)

## 22. Heat Exchanger (HE-07)

Fungsi : Menaikkan suhu umpan MD dari 30 °C menjadi 181,46 °C sekaligus menurunkan hasil bawah MD dari 230,95 °C menjadi 80 °C dengan *heat integration*.

Jenis : *Double Pipe*

*Inner Pipe*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- *Pressure drop* : 4,16 psi

*Annulus*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- *Pressure drop* : 0,45 psi

Luas transfer panas : 143,741 ft<sup>2</sup>

Uc : 47 Btu/jam ft<sup>2</sup> °F

Ud : 40 Btu/jam ft<sup>2</sup> °F

Faktor kotor total (Rd) : 0,0123

Bahan : *Carbon Steel SA-285 Grade C*

Jumlah : 1 buah

Harga : US\$ 18.700 (1 buah)

## 23. Cooler Hasil MD (HE-08)

Fungsi : Menurunkan suhu produk benzonitrile sebelum masuk tangki penyimpan dari 80 °C menjadi 30 °C dengan pendingin *brine* (Larutan NaCl 25 %).

Jenis : *Double Pipe*

*Inner Pipe*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- *Pressure drop* : 2,82 psi

*Annulus*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- *Pressure drop* : 1,49 psi

Luas transfer panas	: 176,59 ft <sup>2</sup>
Kebutuhan pendingin	: 16739,20 kg/jam
Uc	: 65,06 Btu/jam ft <sup>2</sup> °F
Ud	: 10,89 Btu/jam ft <sup>2</sup> °F
Faktor kotor total (Rd)	: 0,0046
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 19.600 (1 buah)

**24. Condensor MD (CD-01)**

Fungsi	: Mencairkan reflux distilat hasil menara destilasi pada suhu 131,78 °C.
Jenis	: <i>Total Condenser, Double Pipe Exchanger</i>

*Inner Pipe*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- *Pressure drop* : 2,82 psi

*Annulus*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- *Pressure drop* : 1,49 psi

Luas transfer panas	: 16,36 ft <sup>2</sup>
---------------------	-------------------------

Kebutuhan Pendingin	: 11670,95 kg/jam
Uc	: 10,89 Btu/jam ft <sup>2</sup> °F
Ud	: 10,27 Btu/jam ft <sup>2</sup> °F
Faktor kotor total (Rd)	: 0,0056
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 1.200 (1 buah)

## 25. Reboiler MD (RB-01)

Fungsi : Menguapkan sebagian hasil bawah menara Destilasi (MD-01) sebanyak 150,47 kmol/jam.

Jenis : *Kettle Reboiler*

*Shell*

- Jenis fluida : Campuran multikomponen
- Diameter dalam : 12 in
- Jarak *baffle* : 2,4 in
- *Pressure drop* : 0,009 psi

*Tubes*

- Diameter luar : 0,75 in
- BWG : 16
- *Pitch* : 1 in *triangular pitch*
- Panjang : 12 ft
- Jumlah pipa : 73 buah
- *Pressure drop* : 0,004 psi

Luas transfer panas : 216,66 ft<sup>2</sup>

Kebutuhan Pemanas : 863,09 kg/jam

Pemanas : *Steam*

Faktor kotor total (Rd) : 0,0065

Bahan	: <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	: 1 buah
Harga	: US\$ 11.700 (1 buah)

#### 26. Pompa 1 (P-01)

Fungsi	: Mengalirkan bahan baku Toluene dari mobil pengangkut menuju tangki penyimpanan toluene (T-01) sebanyak 7159,83 kg/jam.
Jenis	: <i>Radial flow impeller, sentrifugal, single stage pump</i>
Head	: 7,02 m
Kapasitas	: 8,28 m <sup>3</sup> /jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 990,57 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 0.5 Hp
Jumlah	: 2
Harga	: US\$ 15.200 (1 buah)

#### 27. Pompa 2 (P-02)

Fungsi	: Mengalirkan bahan baku Amoniak dari Mobil pengangkut menuju tangki penyimpanan 2 (T-02) sebanyak 38460 Kg/jam.
Jenis	: <i>Mixed flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>
Head	: 8,06 m
Kapasitas	: 66 m <sup>3</sup> /jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 2521 rpm

Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 3 Hp
Jumlah	: 2
Harga	: US\$ 22.600 (1 buah)

### 28. Pompa 3 (P-03)

Fungsi	: Mengalirkan bahan baku Toluene dari tangki peyimpan 1 (T-01) menuju Vaporizer Toluene (V-01) sebanyak 38340 kg/jam.
Jenis	: Mixed flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump
Head	: 1,29 m
Kapasitas	: 8,26 m <sup>3</sup> /jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 5919,03 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 0,25 Hp
Jumlah	: 2
Harga	: US\$ 5.511

### 29. Pompa 4 (P-04)

Fungsi	: Mengalirkan bahan baku Amoniak dari tangki peyimpan 2 (T-02) ke vaporizer NH <sub>3</sub> (VP-2) sebanyak 1057,01 kg/jam.
Jenis	: <i>Mixed flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>
Head	: 1,46 m
Kapasitas	: 1,82 m <sup>3</sup> /jam



Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 2536,5 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3fase, 50 Hz, 0.25 Hp
Jumlah	: 1
Harga	: US\$ 2.519

### 30. Pompa 5 (P-05)

Fungsi	: Memompa larutan dari bottom absorber (ABS-01) menuju Menara striper sebanyak 31699,55 kg/jam
Jenis	: <i>Radial flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>
Head	: 16,88 m
Kapasitas	: 34,87 m <sup>3</sup> /jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 1770 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 4 Hp
Jumlah	: 10
Harga	: US\$ 12.900 (1 buah)

### 31. Pompa 6 (P-06)

Fungsi	: Memompa larutan dari Decanter (DC - 01) ke Menara Distilasi (MD-01) sebanyak 6730,54 kg/jam
Jenis	: <i>Mixed flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>
Head	: 3,83 m

Kapasitas	: 8,14 m <sup>3</sup> /jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 2599,2 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 0.25 Hp
Jumlah	: 2
Harga	: US\$ 10.300 (1 buah)

### 32. Pompa 7 (P-07)

Fungsi	: Memompa larutan dari Condensor (CD-02) ke Menara Distilasi (MD-01) sebanyak 838,09 kg/jam.
Jenis	: <i>Radial flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>
Head	: 5,88 m
Kapasitas	: 1,06 m <sup>3</sup> /jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 682 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3fase, 50 Hz, 1.5 Hp
Jumlah	: 2
Harga	: US\$ 10.300 (1 buah)

### 33. Pompa 8 (P-08)

Fungsi	: Mengalirkan hasil benzonitrile dari menara destilasi ke tangki penyimpanan 3 sebanyak 6312,39 kg/jam.
Jenis	: <i>Mixed flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>

Head	: 11,0693 m
Kapasitas	: 13,2947m <sup>3</sup> /jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 1571,8 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 0.5 Hp
Jumlah	: 2 buah
Harga	: US\$ 7.000 (1 buah)

#### 34. Pompa 9 (P-09)

Fungsi	: Mengalirkan produk benzonitrile dari tangki penyimpanan 3 (T-03) sebanyak 32320 kg/jam.
Jenis	: <i>Mixed flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>
Head	: 7,22 m
Kapasitas	: 35,2 m <sup>3</sup> /jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 1999,95 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 2 Hp
Jumlah	: 2 buah
Harga	: US\$ 12.500 (1 buah)

#### 35. Pompa 10 (P-10)

Fungsi	: Memompa larutan distilat ke vaporizer (V-03) sebanyak 417,83 kg/jam.
Jenis	: <i>Radial flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>

Head	: 5,86 m
Kapasitas	: 0,53 m <sup>3</sup> / jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 482,42 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 0.25 Hp
Jumlah	: 2 buah
Harga	: US\$ 10.300 (1 buah)

### 36. Pompa 11 (P-11)

Fungsi	: Memompa air masuk ke absorber 01 (ABS -01) sebanyak 27022,5 kg/jam.
Jenis	: <i>Mixed flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>
Head	: 16,53 m
Kapasitas	: 0,53 m <sup>3</sup> / jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 1660,3 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 3.5 Hp
Jumlah	: 2 buah
Harga	: US\$ 12.900 (1 buah)

### 37. Pompa 12 (P-12)

Fungsi	: Memompa larutan dari Decanter-02 (DC - 02) ke Absorber (ABS-01) sebanyak 3889,37 kg/jam.
Jenis	: <i>Radial flow impeller, sentrifugal, 1 stage pump</i>

Head	: 16,53 m
Kapasitas	: 0,53 m <sup>3</sup> / jam
Putaran	: 2900 rpm
Putaran spesifik	: 794,18 rpm
Bahan	: Carbon steel
Motor	: 220 V AC, 3 fase, 50 Hz, 0.75 Hp
Jumlah	: 2 buah
Harga	: US\$ 12.900 (1 buah)