

BAB III

PERANCANGAN PROSES

Pabrik pembuatan Benzena ini di produksi dengan kapasitas 160.000 ton/tahun dari bahan baku Toluena dan Hidrogen yang akan beroperasi selama 24 jam perhari dalam 330 hari selama setahun. Proses pada pabrik ini secara garis besar terdiri dari penyiapan bahan baku, proses hidrodealkilasi dan proses pemurnian produk agar terbentuk produk yang diinginkan.

3.1 Uraian Proses

Proses pembuatan Benzena meliputi 3 tahap antara lain Tahap *Pre-Heating Treatment*, Tahap Proses Hidrodealkilasi dan Tahap Pemurnian Produk.

3.1.1 Tahap Pre-Heating Treatment

Terdapat 2 bahan baku pembuatan Benzena, yaitu Toluena dan Hidrogen. Toluena cair dengan kemurnian 99,8% bersuhu 30°C dan tekanan 1 atm disimpan dalam tangki penyimpanan (T-01) dinaikkan tekanannya menjadi 25 atm menggunakan pompa (P-01) lalu dialirkan menuju *vaporizer* (V-01) untuk menguapkan seluruh Toluena menjadi gas. Gas Hidrogen murni dari tangka penyimpanan 2 (T-02) dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm dialirkan langsung melalui pipa dari pabrik pembuatan hidrogen PT. *Airliquide* Indonesia. Kedua bahan baku tersebut dialirkan menuju *furnace* (F-01) untuk dinaikkan suhunya

menjadi 600°C dan asap hasil pembakaran *furnace* (F-01) dapat dipisahkan menjadi sebuah briket arang dengan dicampurkan air.



3.1.2 Tahap Proses Hidrodealkilasi

Toluena dan Hidrogen berfasa gas dengan suhu 600°C dan tekanan 25 atm dialirkan menuju reaktor *fixed bed multitube* (R-01) untuk Proses Hidrodealkilasi pembentukan produk Benzena dengan kondisi operasi proses suhu sebesar 600°C dan tekanan 25 atm. Produk Benzena yang terbentuk dan sisa-sisa Toluena hasil reaksi yang keluar dari reaktor diubah fasanya menjadi cair dengan menurunkan suhunya menjadi $246,365^{\circ}\text{C}$ melalui *condensor* (CD-01).

3.1.3 Tahap Pemurnian Produk

Benzena, sisa-sisa Toluena dan Metana hasil reaksi yang berfasa cair dengan Hidrogen dan Metana berfasa gas yang terikut dipisahkan dengan separator bertekanan tinggi (SP-01) lalu di *recycle* ke *mixing point 3* (MP-03). Benzena, sisa-sisa Toluena dan Metana hasil reaksi berfasa cair kemudian diturunkan tekanannya menjadi 1 atm menggunakan *expander valve* (EX-01). Selanjutnya dialirkan menuju *flash drum* (FD-01) untuk memisahkan Benzena dan sisa-sisa Toluena hasil reaksi dengan Metana yang telah berubah fasa menjadi gas. Lalu produk Benzena dimurnikan menggunakan menara distilasi (D-01) untuk memperoleh spesifikasi produk yang diinginkan. Hasil atas menara distilasi berupa produk Benzena dengan kemurnian 99,8% diturunkan

suhunya menjadi suhu ruang 40°C sebelum dialirkan menuju tangki penyimpanan produk Benzena (T-03). Sedangkan hasil bawah menara distilasi berupa Toluena dengan kemurnian 0,02% di *recycle* menuju *mixing point 1* (MP-01).

3.2 Spesifikasi Alat

3.2.1 Tangki Penyimpanan Bahan Baku

a. Tangki Penyimpanan Bahan Baku Toluena (T-01)

Tugas : Menyimpan Toluena 99,8% sebanyak 23.868,605 kg/jam selama 7 hari.

Jenis : Silinder Tegak berdasar dan beratap *Torispherical*

Bahan : *Carbon Steel*

Fasa : Cair

Waktu tinggal : 7 hari

Kondisi operasi

Tekanan : 1 atm

Suhu : 30 °C

Dimensi

Diameter : 16,6503 m

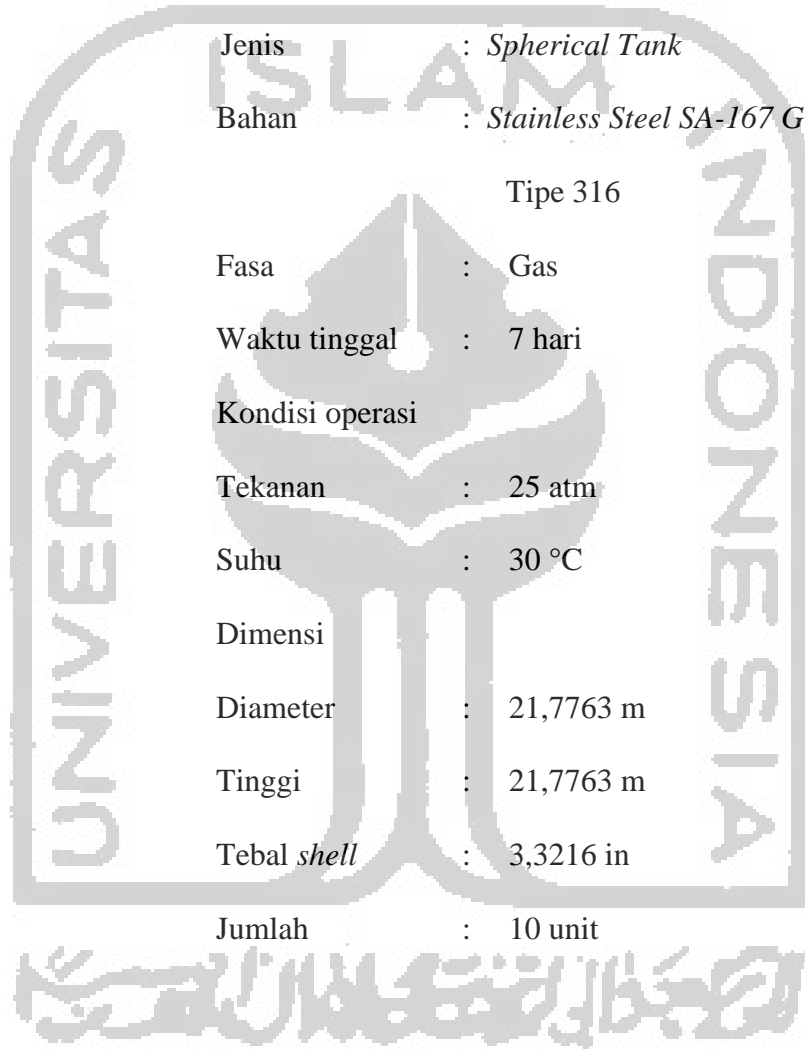
Tinggi : 4,1626 m

Tebal *shell* : 0,875 in

Jumlah : 1 unit

b. Tangki Penyimpanan Bahan Baku Hidrogen (T-02)

Tugas : Menyimpan Hidrogen sebanyak
516,9645 kg/jam selama 30 hari.



Jenis : *Spherical Tank*
Bahan : *Stainless Steel SA-167 Grade 11*
Tipe 316
Fasa : Gas
Waktu tinggal : 7 hari
Kondisi operasi
Tekanan : 25 atm
Suhu : 30 °C
Dimensi
Diameter : 21,7763 m
Tinggi : 21,7763 m
Tebal *shell* : 3,3216 in
Jumlah : 10 unit

3.2.2 Tangki Penyimpanan Produk

a. Tangki Penyimpanan Produk Benzena (T-03)

Tugas : Menyimpan Benzena 99,8%
20.209,353 kg/jam selama 14 hari.

Jenis : Silinder Tegak berdasar dan beratap
Torispherical

Bahan : *Carbon Steel*

Fasa : Cair

Kondisi operasi

Tekanan : 1 atm

Suhu : 40 °C

Dimensi

Diameter : 12.7931 m

Tinggi : 6,3966 m

Tebal *shell* : 1,5 in

Jumlah : 1 unit

b. Tangki Penyimpanan Produk Samping Metana (T-04)

Tugas : Menyimpan Metana Hasil Samping
Reaksi sebanyak 285,4823 kg/jam.

Jenis : Silinder Tegak berdasar dan beratap

Torispherical

Bahan : *Stainless Steel SA-167 Grade 11 Tipe*

316

Fasa : Gas

Kondisi operasi

Tekanan : 1 atm

Suhu : -154 °C

Dimensi

Diameter : 3,0923 m

Tinggi : 6,1846 m

Tebal *shell* : 0,375 in

Jumlah : 1 unit

3.2.3 Heat Exchanger

1. Vaporizer (V-01)

Tugas : Menguapkan bahan baku Toluena
dari suhu 92,257 °C ke suhu 280,067 °C.

Jenis : *Shell and Tube Heat Exchanger*

Kondisi operasi

Fluida Dingin

- *t_{in}* : 92,257 °C

- *t_{out}* : 280,067 °C

Fluida Panas Tin : 294 °C

- *t_{in}* : 92,257 °C

- *t_{out}* : 280,067 °C

Tebal minimum *tube* : 0,148 in

Jenis tube : *Tube sheet layout 1 in.*

OD tubes on 1,25 in

triangular pitch.

Shell Side : *Steam*

- Jumlah *Passed* (n) : 2

- *IDs* : 31 in

- *ODs* : 31,138 in

Tube Side : *Light Organic*

- Jumlah *Passed* (n) : 4

- Jumlah *Tube* (*Nt*) : 430 buah

- *Area per Tube* (*A't*) : 0,639 in²

Dirty Factor : 0,005 hr/ft² °F/Btu (Rd
required < 0,007 hr/ft²

Jumlah : 1 unit

2. *Condensor 1* (CD-01)

Tugas : Mengembunkan Benzena dan Toluena keluaran reaktor *fixed bed multitube* (R-01) dari suhu 600 °C ke suhu 246,247 °C.

Jenis : *Shell and Tube Heat Exchanger*

Kondisi operasi

Fluida Dingin

- *t in* : 70 °C

- *t out* : 220 °C

Fluida Panas

- *T in* : 600 °C

- *T out* : 246,347 °C

Tebal minimum tube : 0,12 in

Jenis tube : *Tube sheet layout 0,75 in.*
OD tubes on 0,9375 in
triangular pitch.

Shell Side : *Dowtherm A*

- Jumlah *Passed* (n) : 2

- *IDs* : 15,25 in

- *ODs* : 21,386 in

Tube Side : *Light Organic*

- Jumlah *Passed* (n) : 4

- Jumlah *Tube* (Nt) : 314 buah

- *Area per Tube* (A't): 0,334 in²

Dirt Factor : 0,004 hr/ft² °F/Btu

Jumlah : 1 unit

3. *Condensor* 2 (CD-02)

Tugas : Mengembunkan produk
Benzena dan Toluena

hasil atas distilasi dari
suhu 80,443 °C ke suhu
80,443 °C.

Jenis : *Shell and Tube Heat*
Exchanger

Kondisi operasi

Fluida Dingin

- t_{in} : 30 °C

- t_{out} : 50 °C

Fluida Panas

- T_{in} : 80,443 °C

- T_{out} : 80,443 °C

Tebal minimum *tube* : 0,134 in

Jenis *tube* : *Tube sheet layout 1 in.*

*OD tubes on 1,25 in
triangular pitch.*

Shell Side : *Light Organic*

- Jumlah *Passed* (n) : 2

- *IDs* : 15,25 in

- *ODs* : 15,377 in

Tube Side : *Water*

Jumlah *Passed* (n) : 4

- Jumlah *Tube* (Nt) : 80 buah

- *Area per Tube* ($A't$): 0,639 in²

Dirty Factor : 0,002 hr/ft² °F/Btu

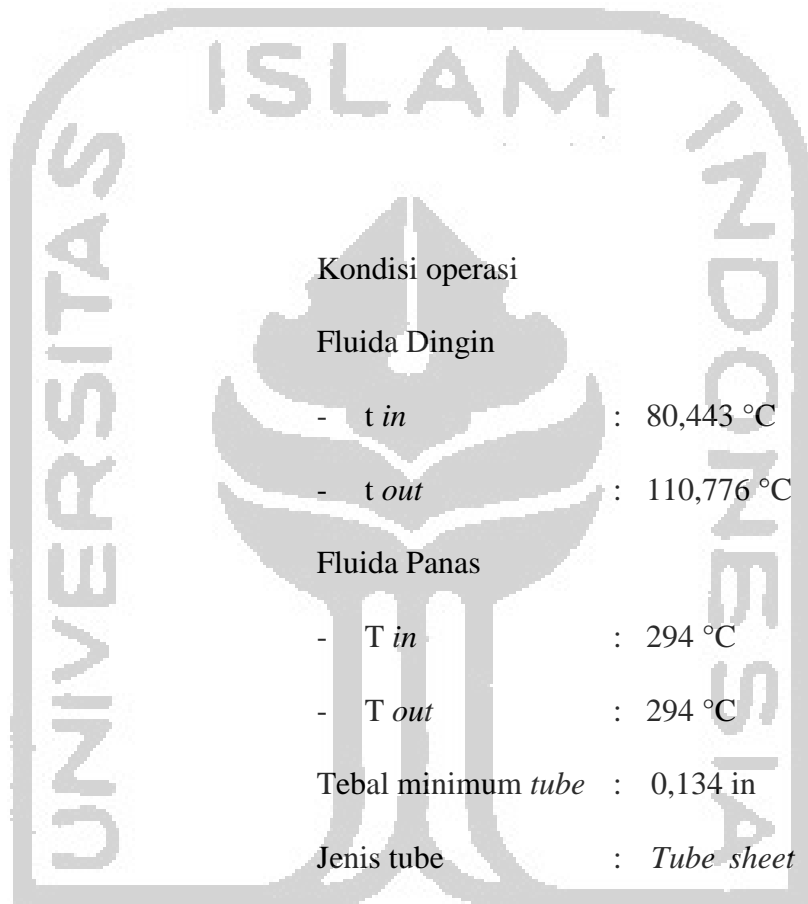
Jumlah : 1 unit

4. *Reboiler* (RB-01)

Tugas : Menguapkan hasil bawah
menara distilasi Toluena
beserta impuritasnya dari

suhu 80,443 °C ke suhu
110,776 °C.

Jenis : *Shell and Tube Heat
Exchanger*



Kondisi operasi

Fluida Dingin

- t_{in} : 80,443 °C

- t_{out} : 110,776 °C

Fluida Panas

- T_{in} : 294 °C

- T_{out} : 294 °C

Tebal minimum *tube* : 0,134 in

Jenis tube : *Tube sheet layout 1,5 in.*

OD tubes on 1,875 in

triangular pitch.

Shell Side : *Steam*

- Jumlah *Passed* (n) : 3

- *IDs* : 12 in

- *ODs* : 12,126 in

Tube Side : *Light Organic*

- Jumlah *Passed* (n) : 6
- Jumlah *Tube* (Nt) : 12 buah
- *Area per Tube* ($A't$) : 1,075 in²

Dirty Factor : 0,002 hr/ft² °F/Btu

Jumlah : 1 unit

5. *Heater* (H-01)

Tugas : Memanaskan Toluena dan Benzena yang akan masuk ke menara distilasi dari suhu -153,625 °C ke suhu 83,5206 °C.

Jenis : *Shell and Tube Heat Exchanger*

Kondisi operasi

Fluida Dingin

- t_{in} : -153,625 °C
- t_{out} : 83,5206 °C

Fluida Panas

- T_{in} : 294 °C
- T_{out} : 294 °C

Tebal minimum *tube* : 0,134 in

Jenis tube : *Tube sheet layout 1,25 in.*
OD tubes on 1,5625 in
square pitch.

Shell Side : *Steam*

- Jumlah *Passed (n)* : 2

- *IDs* : 10 in

- *ODs* : 10,154

Tube Side : *Light Organic*

- Jumlah *Passed (n)* : 4

- Jumlah *Tube (Nt)* : 10 buah

- *Area per Tube (A't)* : 0,3271 in²

Dirt Factor : 0,004 hr/ft² °F/Btu

Jumlah : 1 unit

6. *Cooler (C-01)*

Tugas : Mendinginkan produk
Benzena 99,8% dari suhu
80,443 °C ke suhu 30 °C.

Jenis : *Shell and Tube Heat*
Exchanger

Kondisi operasi

Fluida Dingin

- t_{in} : 30 °C

- t_{out} : 50 °C

Fluida Panas

- T_{in} : 80,443 °C

- T_{out} : 40 °C

Tebal minimum *tube* : 0,049 in

Jenis *tube* : *Tube sheet layout 0,75 in.*

OD tubes on 1 in triangular pitch.

Shell Side : *Water*

- Jumlah *Passed* (n) : 2

- *IDs* : 23,25 in

- *ODs* : 23,384 in

Tube Side : *Light Organic*

- Jumlah *Passed* (n) : 4

- Jumlah *Tube* (Nt) : 352 buah

- *Area per Tube* ($A't$) : 0,334 in²

Dirty Factor : 0,005 hr/ft² °F/Btu

Jumlah : 1 unit

3.2.4 Reaktor (R-01)

Tugas	:	Mereaksikan Toluena dan Hidrogen menggunakan katalis <i>Chromia Alumina</i> sehingga menghasilkan Benzena.
Jenis	:	Reaktor <i>fixed bed multitube</i>
Jumlah	:	1 unit
Kondisi operasi	:	T = 600 °C P = 25 atm
Katalis	:	<i>Chromia Alumina</i>
Pendingin	:	<i>Dowtherm A</i>
<i>Tube</i>	:	
ID	:	0,375 in
OD	:	0,75 in
Panjang	:	29,972 m
Jumlah	:	1.330 tube
Susunan	:	<i>triangular pitch</i>
<i>Pitch</i>	:	1 in

Shell

Material : *Stainless Steel SA-167*
Grade 11 Tipe 316

ID : 7,696 m

Tebal : 1,5 in

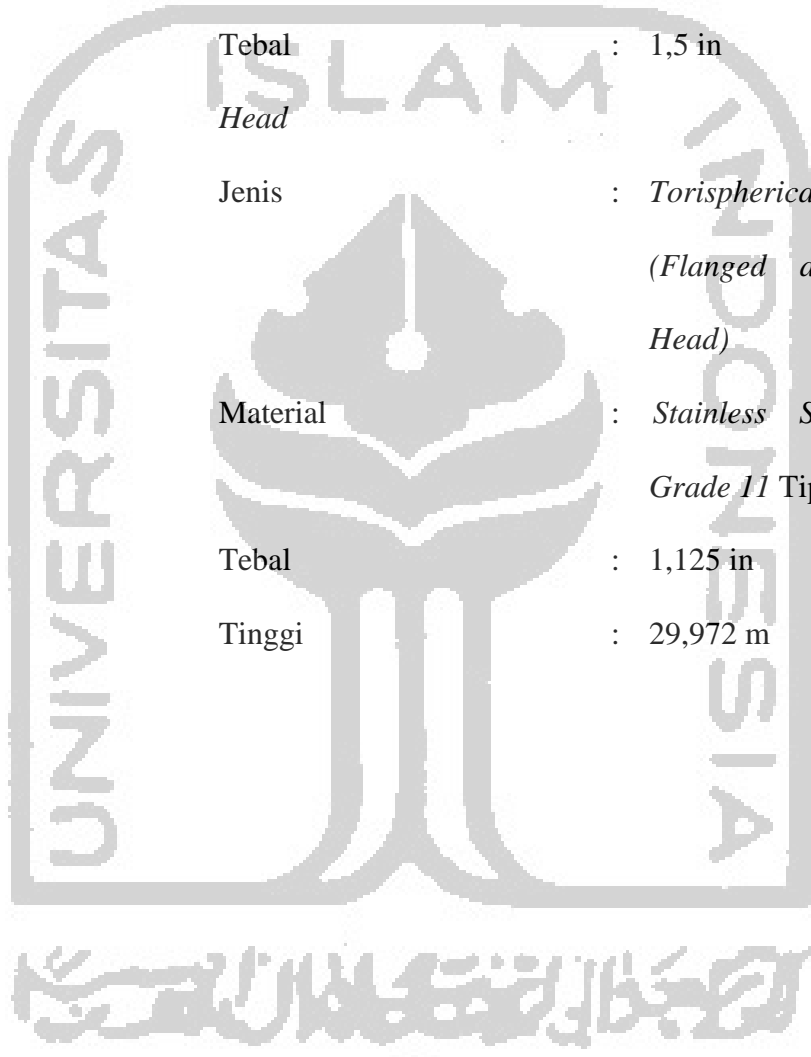
Head

Jenis : *Torispherical head*
(Flanged and Dishead Head)

Material : *Stainless Steel SA-167*
Grade 11 Tipe 316

Tebal : 1,125 in

Tinggi : 29,972 m



3.2.5 Menara Distilasi (D-01)

Tugas : Memisahkan produk utama Benzena 99,8% dengan hasil bawah menara distilasi.

Jenis : *Sieve Tray*

Bahan : *Stainless Steel SA-167 Grade 11 Tipe 316*

Jumlah : 1 unit

Kondisi operasi

Tekanan operasi : 1 atm

Temperatur umpan masuk : 83,521 °C

Temperatur atas kolom : 80,442 °C

Temperatur bawah kolom : 110,776 °C

Dimensi :

Diameter distilasi : 2,369 m

Tebal dinding kolom : 0,188 in

Tinggi kolom : 48,857 m

Jumlah plate : 78

Jarak antar plate : 24 in

3.2.6 Separator (SP-01)

Tugas : Untuk memisahkan Benzena berfasa cair dengan Toluena berfasa gas hasil keluaran Vaporizer (V-01).

Jenis : *Vertical Vessel*

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1 unit

Temperatur : 280,067 °C

Tekanan : 25 atm

Waktu tinggal : 5 menit

Dimensi :

- Diameter Luar = 3,769 in
- Diameter Dalam = 3,586 in
- Tinggi *vessel* = 25,607 in
- Tebal *vessel* = 0,188 in
- Diameter *nozzle* gas = 42 in
- Diameter *nozzle* cair = 3 in

3.2.7 Separator (SP-02)

Tugas : Untuk memisahkan cairan Benzena dan Toluena dengan gas Hidrogen dan Metana.

Jenis : *Vertical Vessel*

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1 buah

Temperatur : 246,365 °C

Tekanan : 25 atm

Waktu tinggal : 5 menit

Dimensi :

- Diameter Luar = 6,388 in
- Diameter Dalam = 6,164 in
- Tinggi *vessel* = 36, 618 in
- Tebal *vessel* = 0,25 in
- Diameter *nozzle* gas = 26 in
- Diameter *nozzle* cair = 8,625 in

3.2.8 Flash Drum (FD-01)

Tugas : Untuk memisahkan Benzena dan Toluena berfasa cair dengan Metana berfasa gas karena terjadi penurunan tekanan.

Jenis : *Vertical Flash Drum* dengan tutup dan dasar *torispherical*

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1 unit

Temperatur : $-153,625\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tekanan : 1 atm

Waktu tinggal : 5 menit

Dimensi :

- Diameter Luar = 10,147 in

- Diameter Dalam = 3,001 in

- Tinggi *vessel* = 41,302 m

- Tebal *vessel* = 0,13 in

3.2.9 Furnace (F-01)

Tugas : Memanaskan Benzena, Toluena, Hidrogen dan Metana dari suhu 78,2588 °C sampai suhu 600 °C.

Bahan : *Carbon Steel*

Fasa : Gas

Jumlah : 1 buah

Kondisi operasi

Temperatur masuk : 78,259 °C

Temperatur keluar : 600° C

Tekanan : 25 atm

Luas permukaan transfer panas bagian radian (Ar)

: 2186,041 ft²

Nominal pipe size : 22 in

Flow area per pipe : 363 in²

Jumlah tube radian (Nr) : 12 tube

Tebal pipa : 1,25 in

Luas permukaan transfer panas bagian konveksi (Ac)

: 0,001 ft²

Jumlah tube konveksi (Nc) : 1

Dimensi furnace :

- Panjang = 9,144 m

- Lebar = 1,118 m
- Tinggi = 5,029 m

3.2.10 Expansion Valve (EX-01)



Tugas : Menurunkan tekanan Benzena, Toluena dan Metana yang keluar dari separator bertekanan tinggi (SP-02) dari 25 atm ke 1 atm.

Jenis : *Plug Cock Valve*

Jumlah : 4 unit

Tekanan awal : 25 atm

Tekanan akhir : 1 atm

Diameter valve : 20 in

Jumlah *valve* yang dibutuhkan : 2 buah

3.2.11 Akumulator (AC-01)

Tugas : Menyimpan kondensat hasil atas menara distilasi untuk sebagian di refluks ke dalam menara distilasi.

Jenis : Silinder Tegak berdasar dan beratap
Torispherical

Bahan : *Stainless Steel SA-167 Grade 11* Tipe 316

Fasa : Cair

Kondisi operasi

Tekanan : 1 atm

Suhu : 80,43 °C

Dimensi

Diameter : 0,5588 m

Tinggi : 4,9842 m

Tebal *shell* : 0,5 in

Jumlah : 1 unit

3.2.12 Pompa

1. Pompa 1 (P-01)

Tugas : Mengalirkan bahan baku Toluena dari tangka penyimpanan bahan baku Toluena (T-01) dan menaikkan tekanannya dari 1 atm ke 25 atm.

Jenis : *Centrifugal Pump*

Jumlah : 10 unit

Daya pompa : 280 HP

Bahan : *Commercial Steel*

Ukuran pipa :

- Nominal pipe size = 8 in

- Schedule number = 40

- Flow area per pipe = 50 in²

2. Pompa (P-02)

Tugas : Mengalirkan Toluena hasil bawah menara distilasi (D-01) ke *mixing point* 1 (MP-01)

Jenis : *Centrifugal Pump*

Jumlah : 4

Daya pompa : 0,03 HP

Bahan : *Commercial Steel*

Ukuran pipa :

- Nominal pipe size = 8 in

- Schedule number = 40

- Flow area per pipe = 50 in²



3.3 Perencanaan Produksi

a. Kapasitas Perancangan

Pemilihan kapasitas prancangan didasarkan pada kebutuhan Benzena di Indonesia yang mengalami peningkatan dari tahun ke tahun sebagai bahan baku polimer juga perkembangan pesat industri-industri kimia di Indonesia. Serta melihat kapasitas-kapasitas pabrik yang sudah berdiri, maka pabrik Benzena ini akan didirikan dengan kapasitas 160.000 ton/tahun.

b. Analisis Kebutuhan Bahan Baku

Bahan baku Toluena 99,8% diperoleh dari PT. Pertamina RU IV Cilacap sedangkan Hidrogen murni diperoleh dari PT. *Airliquide Indonesia*.

Tabel 3.1 Kebutuhan Bahan Baku

Komponen	Kebutuhan (ton/tahun)	Ketersediaan Bahan Baku (ton/tahun)
Toluena 99,8%	221.577 ton/tahun	6.200.000 ton/tahun
Hidrogen murni	24.566 ton/tahun	233.000 ton/tahun

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

c. 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.

