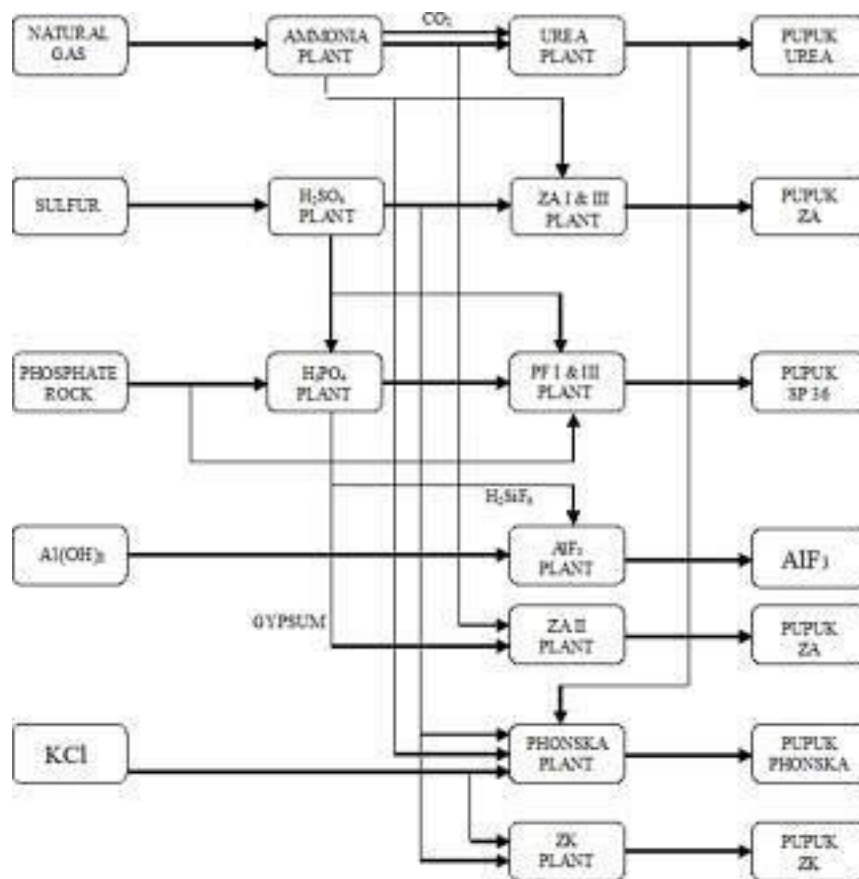


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Unit Produksi

PT Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk terlengkap di Indonesia yang mampu menghasilkan produk pupuk dan prosuk non pupukserta bahan kimia lainnya. Secara umum, PT Petrokimia Gresik dibagi menjadi 3 unit produksi, yaitu unit produksi I A dan I B, unit produksi II Adan II B serta unit produksi III A dan III B.



Gambar 2.1 Alur Proses Produksi PT Petrokimia Gresik



II.1.1.1 Unit Produksi I

Unit produksi I merupakan unit yang menghasilkan pupuk berbasis Nitrogen dan produk samping sebagai bahan baku untuk produk lain.

a. Pabrik Amonia

Tahun berdiri	: 1994
Kapasitas produksi	: 445.000 ton/tahun
Bahan baku	: Gas alam dan nitrogen yang diambil dari udara

b. Pabrik Urea

Tahun berdiri	: 1994
Kapasitas produksi	: 460.000 ton/tahun
Bahan baku	: Amoniak Cair dan Gas Karbondioksida

c. Pabrik ZA I

Tahun berdiri	: 1972
Kapasitas produksi	: 200.000 ton/tahun
Bahan baku	: Gas amoniak dan asam sulfat

d. Pabrik ZA III

Tahun berdiri	: 1986
Kapasitas Produksi	: 200.000 ton/tahun
Bahan baku	: Gas amoniak dan asam sulfat

Selain menghasilkan pupuk, Unit Produksi I, juga menghasilkan produk samping non pupuk, antara lain :

1. CO₂ cair dengan kapasitas 10.000 ton/tahun
2. CO₂ padat (*Dry Ice*) dengan kapasitas 4.000 ton/tahun
3. Gas Nitrogen dengan kapasitas 500.000 ton/tahun
4. Nitrogen cair dengan kapasitas 250.000 ton/tahun



5. Gas Oksigen dengan kapasitas 600.000 ton/tahun
6. Oksigen cair dengan kapasitas 3.300 ton/tahun

I.1.1.2 Unit Produksi II (Pabrik Pupuk Fosfat)

A. Pabrik Pupuk Fosfat

1. Pabrik Pupuk Fosfat I

Tahun berdiri	: 1979
Kapasitas produksi	: 500.000 ton/tahun
Bahan baku	: Fosfat rock

2. Pabrik Pupuk Fosfat II

Tahun berdiri	: 1983
Kapasitas produksi	: 500.000 ton/tahun
Bahan baku	: Fosfat rock

B. Pabrik Phonska

1. Pabrik Pupuk PHONSKA I

Kapasitas	: 450.000 ton/tahun
Tahun operasi	: 2000
Bahan baku	: Amoniak, Asam Fosfat, Asam Sulfat, Belerang, filler

2. Pabrik Pupuk PHONSKA II

Kapasitas	: 600.000 ton/tahun
Tahun operasi	: 2005
Bahan baku	: Amoniak, Asam Fosfat, Asam Sulfat, Belerang dan filler

3. Pabrik Pupuk PHONSKA III

Kapasitas	: 600.000 ton/tahun
Tahun operasi	: 2009
Bahan baku	: Amoniak, Asam Fosfat, Asam Sulfat, Belerang dan filler



PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UPN “VETERAN” JAWA TIMUR

4. Pabrik Pupuk PHONSKA IV

Kapasitas	: 60.000 ton/tahun
Tahun operasi	: 2011
Bahan baku	: Amoniak, Asam Fosfat, Asam Sulfat, Belerang dan Filler

C. Pabrik Pupuk NPK

1. Pabrik Pupuk NPK I

Tahun	: 2005
Kapasitas	: 70.000 ton/tahun
Bahan baku	: DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

2. Pabrik Pupuk NPK II

Tahun	: 2008
Kapasitas	: 100.000 ton/tahun
Bahan baku	: DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

3. Pabrik Pupuk NPK III

Tahun	: 2009
Kapasitas	: 100.000 ton/tahun
Bahan baku	: DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

4. Pabrik Pupuk NPK IV

Tahun	: 2009
Kapasitas	: 100.000 ton/tahun
Bahan baku	: DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

5. Pabrik Pupuk NPK

Blending Tahun	2003
Kapasitas	: 60.000 ton/tahun
Bahan baku	: DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

D. Pabrik Pupuk K₂SO₄ atau ZK

Tahun	: 2005
Kapasitas	: 10.000 ton/tahun



Bahan baku : H₂SO₄ dan KCl

II.1.1.3 Departemen Produksi III A

Departemen Produksi III A merupakan unit penghasil produk utama berupa Asam yang digunakan sebagai bahan baku produksi di Pabrik I dan II, sering disebut dengan istilah pabrik Asam Fosfat. Pabrik tersebut terdiri dari pabrik Asam Fosfat, pabrik Asam Sulfat dan pabrik ZA II

1. Pabrik Asam Fosfat (H₃PO₄)

Tahun berdiri : 1985
Kapasitas produksi : 200.000 ton/tahun
Bahan baku : *Phosphate Rock*

2. Pabrik Asam Sulfat II

Tahun berdiri : 1985
Kapasitas produksi : 550.000 ton/tahun
Bahan baku : Belerang, H₂O

3. Pabrik ZA II

Tahun berdiri : 1985
Kapasitas produksi : 250.000 ton/tahun
Bahan baku : Amoniak, Asam fosfat, dan CO₂

II.1.1.4 Departemen Produksi III B (*Revamping* Pabrik Asam Fosfat)

Merupakan perluasan dari Departemen Produksi IIIB yang memproduksi asam fosfat, asam sulfat dan purified gypsum.

1. Pabrik Asam Fosfat (PA Plant)

Kapasitas Produksi : 650 T/hari (100% P₂O₅)
Konfigurasi Proses : HDH (Hemi-dihydrate)

2. Pabrik Asam Sulfat (SA Plant)

Kapasitas Produksi : 1850 T/hari (100% H₂SO₄)
Konfigurasi Proses : Double Contact Double Absorber

3. Pabrik Purified Gypsum (GP Plant)

Kapasitas Produksi : 2000 T/hari

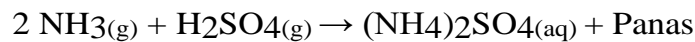


Konfigurasi Proses : Purifikasi

II.2 Uraian Tugas Khusus

II.2.1 Latar Belakang

Proses pembuatan pupuk ZA pada unit produksi I/III menggunakan proses netralisasi antara ammonia dan asam sulfat di dalam saturator hingga terjadi proses kristalisasi. Reaksi pembentukan ammonium sulfat yang terjadi bersifat sangat eksotermis dimana reaksinya sebagai berikut:



Proses netralisasi menggunakan prinsip sebagai berikut: “uap NH_3 dimasukkan ke dalam saturator yang berisi H_2SO_4 dan ditambah air kondensat (sebagai penyerap panas hasil reaksi) dengan bantuan udara sebagai pengaduk”. Secara umum, reaksi pembentukan ZA terdiri dari reaksi netralisasi dan kristalisasi.

Reaksi netralisasi digunakan untuk mereaksikan gas ammonia dan asam sulfat. Feed gas NH_3 yang dimasukkan dari pabrik ammonia, dengan konsentrasi 99 -100%, sedangkan asam sulfat diperoleh dari tangki asam sulfat TK-200 yang berasal dari pabrik 3, dalam bentuk larutan asam sulfat pekat dengan konsentrasi 98-98,5%, pada suhu 30°C dan tekanan 5 kg/cm^3 . Kedua reaksi tersebut berlangsung dalam *saturator* R-5401. Uap amoniak masuk melalui sparger di bagian bawah saturator, sedangkan asam sulfat masuk melalui *line* di dekat dinding saturator.

Tiap saturator dilengkapi dengan kondensor E-5301. Alat ini berfungsi untuk mengkondensasi uap hasil reaksi eksotermis di dalam saturator, sehingga dapat menjaga keseimbangan air. Proses ini juga berfungsi untuk memperkecil kehilangan ammonia. Hasil kondensat akan dimasukkan ke dalam tangki kondensat TK-5403, dan kemudian dapat dikembalikan ke dalam saturator.



Setelah dilakukan proses netralisasi, lalu dilanjutkan dengan proses kristalisasi, yang berfungsi untuk memekatkan hasil reaksi produk ammonium sulfat yang terbentuk. Sebenarnya larutan induk yang berada di dalam saturator ini adalah larutan ammonium sulfat jenuh, lalu dengan ditambahkan ammonia dan asam sulfat secara terus menerus akan dapat menghasilkan larutan yang lebih jenuh lagi (oversaturated).

II.2.2 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas khusus ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang alat Kondensor E-5301 pada proses perpindahan panas secara konvesi di unit amonium sulfat produksi IIIA dengan menghitung suhu keluar, panas penguapan, dan panas reaksi terlebih dahulu di alat reaktor R-5401
2. Mengetahui besarnya nilai Design Overall Koefisien perpindahan panas (U_d), fouling factor (R_d) dan pressure drop (ΔP) pada Heat Exchanger E-5301.

II.2.3 Manfaat

Dari analisis kuantitatif terhadap kondensor E-5301 pada pabrik Amonium Sulfat, diharapkan dapat merancang alat kondensor yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

II.2.4 Tinjauan Pustaka

1. Kondensor

Kondensor adalah alat gelas yang digunakan untuk mendinginkan uap panas dalam beberapa metode kimia. Kondensor berasal dari kata kondensasi yang berarti bahwa alat tersebut akan mendinginkan uap yang melewatinya dan mengubahnya menjadi fase cair. Peristiwa kondensasi ini sama halnya dengan prinsip yang terjadi ketika pengembunan atau perubahan zat gas menjadi zat cair berdasarkan perbedaan suhu. Kondensor umumnya digunakan dalam bagian utama alat destilasi ataupun refluks. Prinsip kerja dari kondensor ialah dengan menurunkan suhu uap secara drastis. Setiap kondensor akan memiliki sistem pendinginan menggunakan



aliran air. Oleh karena itu dalam menggunakan kondensor kita membutuhkan pompa air untuk membuat aliran air dalam kondensor terus berjalan. Aliran air ini memiliki fungsi untuk menurunkan suhu dalam kondensor sehingga uap yang memiliki suhu tinggi akan berubah menjadi fasa cair ketika menyentuh permukaan kondensor yang memiliki suhu sangat rendah.

Kondensor juga mempunyai fungsi lain yaitu menampung kondensat pada hot-well pada bagian bawah kondensor sebagai sisi- hisap pompa untai sekunder disamping juga menampung gas yang tidak terkondensasi (*noncondensable* gas). Dalam operasi kondensor, terdapat gas atau udara terlarut dari atmosfer ke dalam sistem siklus uap (*steam-cycle equipment*) maupun dari zat kimia yang terdapat pada *chemicals feedwater treatment*. Udara tidak terkondensasi ini berada dibalik header tube ketika terjadi kondensasi uap. Udara ini akan terakumulasi apabila tidak dikeluarkan dari sistem kondensor. Oleh karena itu fitur yang juga penting pada kondensor adalah terdapatnya fasilitas ventilasi untuk pemindah udara tidak terkondensasi. Catatan bahwa kandungan udara tidak terkondensasi dapat mengurangi koefisien kondensasi. Othmer menyampaikan bahwa 1% udara tercampur ke dalam volume uap maka dapat menurunkan koefisien kondensasi 56% oleh karena itu gas yang terakumulasi ini tidak dapat ditoleransiselama operasi kondensor.

2. Klasifikasi Alat Penukar Panas Berdasarkan Kegunaannya

Berdasarkan kegunaannya alat penukar panas diklasifikasikan menjadi :

1. Cooler

Penukar panas jenis ini digunakan untuk mendinginkan fluida panas sehingga mencapai kondisi relative yang diinginkan dengan menggunakan suatu media pendingin berupa air atau udara.

2. Condensor

Berfungsi untuk mengambil kalor laten fluida yang berbentuk uap sehingga terjadi perubahan fasa dari uap menjadi cair. Umumnya

mempunyai tipe shell and tube.

3. Reboiler

Berfungsi menguapkan liquid pada bagian dasar kolom distilasi sehingga fraksi-fraksi ringan yang terikut dalam hasil bawah dapat diuapkan kembali. Media pemanas yang digunakan umumnya adalah steam atau fluida panas.

4. Pre heater

Penukar panas tipe pre heater berfungsi mentransfer panas dari produk-produk yang bersuhu tinggi ke umpan sebelum masuk ke furnance, agar kerja furnance menjadi lebih ringan.

5. Chiller

Chiller digunakan mendinginkan fluida sampai suhu yang cukup rendah sehingga terbentuk relative, media pendingin yang biasa digunakan adalah freon, propane, dan ammonia.

6. Evaporator

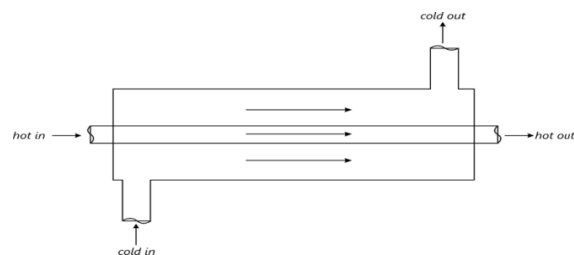
Pada evaporator fluida cair diuapkan dengan menggunakan steam atau pemanas lainnya.

3. **Arah Aliran Fluida Pada Alat Penukar Panas**

Arah aliran fluida yang mengalir di dalam heat exchanger terbagi menjadi tiga tipe, yaitu:

1. Aliran searah (co-current / paralel flow)

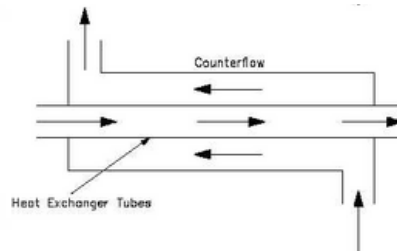
Pada tipe aliran ini fluida panas dan fluida dingin masuk pada ujung penukarpanas yang sama dan kedua fluida mengalir searah menuju ujung penukar panas yanglain.



Gambar 2.2 Arah aliran co-current/paralel flow

2. Aliran berlawanan arah (counter current flow)

Pada tipe aliran ini fluida panas dan fluida dingin masuk melalui ujung penukar panas yang berbeda. Masing-masing fluida mengalir dengan arah berlawanan menuju ujung penukar panas keluar.



Gambar 2.3 Arah aliran counter current flow

4. Jenis – Jenis Aliran Fluida

1. Aliran Laminer

Aliran laminer adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan- lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah dan fluidanya bergerak sejajar (laminae) & mempunyai batasan-batasan yang berisi aliran fluida. Aliran laminar adalah aliran fluida tanpa arus turbulensi (pusaran air). Partikel fluida mengalir atau bergerak dengan bentuk garis lurus dan sejajar. Laminar adalah ciri dari arus yang berkecepatan rendah, dan partikel sedimen dalam zona aliran berpindah dengan menggelinding (rolling) ataupun terangkat (saltation). Pada laju aliran rendah, aliran laminer tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran. Aliran laminer mempunyai Bilangan Reynold lebih kecil dari 2300.

2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Turbulen mentransport partikel-partikel dengan



dua cara; dengan penambahan gaya fluida dan penurunan tekanan lokal ketika pusaran turbulen bekerja padanya. Keduanya adalah penyebab terjadinya transportasi pasir sepanjang bawah permukaan. Di alam hampir semua mekanisme transport pasir terjadi secara turbulen. Turbulen terutama terjadi di sungai akibat penggerusan sepanjang batas arus air, dan meningkat akibat kekasaran bawah permukaan; sepanjang garis pantai dan laut penyebabnya adalah ombak, tekanan angin permukaan, dan penggerusan arus. Di udara turbulen yang membawa bekas ledakan volkanis ditransport angin. Besarnya gerakan turbulen bervariasi dari mikro hingga makro, yang terakhir tadi sangat mudah dilihat di sungai dengan penampakan pusaran yang kompleks atau dengan boil yang berbenturan dengan permukaan sungai, secara terus menerus. Aliran turbulen mempunyai bilangan Reynold yang lebih besar dari 4000.

(Dzulqornain, 2015)

5. **Macam-Macam Kondensor**

1. **Menurut Jenis Cooling Medium**

Menurut jenis cooling mediumnya kondensor dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

- a. *Air Cooled Condenser* (menggunakan udara sebagai *cooling medium* nya)

Air Cooled Condenser mengkondensasikan pembuangan uap dari turbin uap dan kembali kondensat (cairan yang sudah terkondensasi) ke boiler tanpa kehilangan air.



Gambar 2.4 *Air Cooled Condenser*

- b. *Water Cooled Condenser* (menggunakan air sebagai cooling mediumnya)

Water Cooled Condenser yang paling banyak digunakan yaitu :

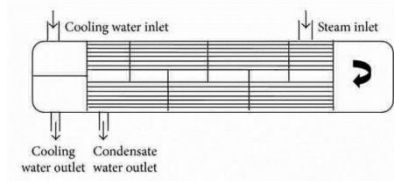
a) **Shell and Tube Condenser**

Shell and Tube Condenser atau Kondensor tipe Tabung dan Pipa digunakan pada kondensor berukuran kecil sampai besar. Biasa digunakan untuk air pendingin berupa ammonia dan freon. Seperti terlihat pada gambar didalam kondensor.

Tabung dan Pipa terdapat banyak pipa pendingin, dimana air pendingin pengalir di dalam pipa-pipa tersebut, ujung dan pangkal pipa pendingin terikat pada pelat pipa, sedangkan diantara pelat pipa dan tutup tabung dipasang sekat-sekat untuk membagi aliran air yang melewati pipa-pipa dan mengatur agar kecepatannya cukup tinggi, yaitu 1,5 – 2 m/detik.

Air pendingin masuk melalui pipa bagian bawah kemudian keluar melalui pipa bagian atas. Jumlah saluran maksimum yang dapat digunakan sebanyak 12, semakin banyak jumlah saluran yang digunakan maka semakin besar tahanan aliran air pendingin. Pipa pendingin ammonia biasa terbuat dari baja sedangkan untuk freon biasa terbuat dari pipa tembaga. Jika menginginkan pipa yang tahan terhadap

korosi bias menggunakan pipa kuningan datau pipa cupro nikel.



Gambar 2.5 *Shell and Tube Condenser*

Ciri-ciri kondensor Tabung dan Pipa adalah :

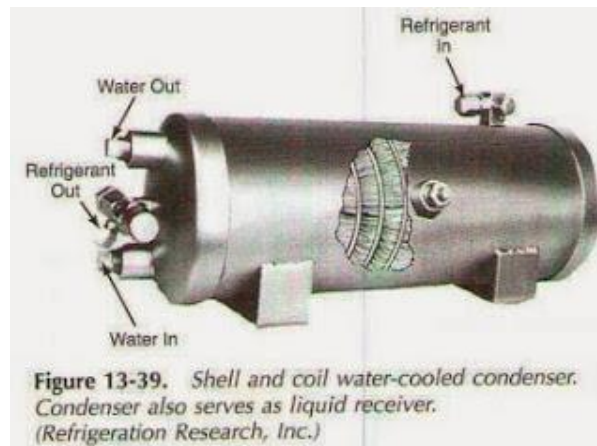
- Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga ukurannya relatif lebih kecil dan ringan.
- Pipa dapat dibersihkan.dibuat dengan mudah.
- Bentuk yang sederhana dan mudah pemasangannya.
- Pipa pendingin mudah

b) **Shell and Coil Condenser**

Kondensor tabung dan koil banyak digunakan pada unit pendingin dengan Freon refrigerant berkapasitas lebih kecil, misalnya untuk penyegar udara, pendingin air, dan sebagainya.

Seperti gambar dibawah ini, Kondensor tabung dan koil dengan tabung pipa pendingin di dalam tabung yang dipasang pada posisi vertical. Koil pipa pendingin tersebut biasanya dibuat dari tembaga, berbentuk tanpa sirip maupun dengan sirip. Pipa tersebut mudah dibuat dan murah harganya.

Pada Kondensor tabung dan koil, aliran air mengalir di dalam koil pipa pendingin. Disini, endapan dan kerak yang terbentuk di dalam pipa harus dibersihkan menggunakan zat kimia (detergent).



Gambar 2.6 Shell and Coil Condenser

Adapun cirri-ciri Kondensor tabung dan koil sebagai berikut :

- Harganya murah karena mudah dalam pembuatannya.
- Kompak karena posisinya yang vertical dan mudah dalam pemasangannya.
- Tidak perlu mengganti pipa pendingin, tetapi hanya perlu pembersihan dengan menggunakan detergen

c) Tube and Tubes Condenser

Kondensor jenis pipa ganda merupakan susunan dari dua

pipa koaksial dimana refrigerant mengalir melalui saluran yang terbentuk antara pipa dalam dan pipa luar yang melintang dari atas ke bawah. Sedangkan air pendingin mengalir di dalam pipa dalam arah berlawanan, yaitu refrigerant mengalir dari atas ke bawah.

Pada mesin pendingin berkapasitas rendah dengan Freon sebagai refrigerant, pipa dalam dan pipa luarnya terbuat dari tembaga. Gambar dibawah ini menunjukkan Kondensor jenis pipa ganda, dalam bentuk koil. Pipa dalam dapat dibuat bersirip atau tanpa sirip.



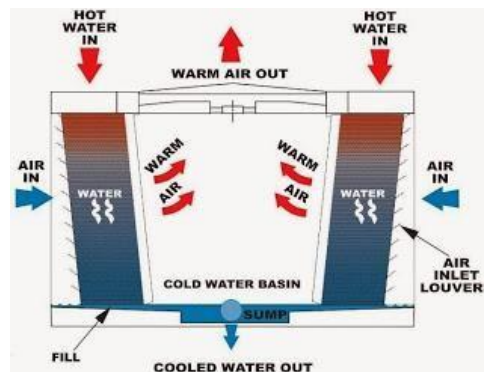
Gambar 2.7 Tube and Tubes Condenser

Kecepatan aliran di dalam pipa pendingin kira-kira antara 1-2 m/detik. Sedangkan perbedaan temperature air keluar dan masuk pipa pendingin (kenaikan temperature air pendingin di dalam kondensor) kira-kira mencapai suhu 10°C. Laju perpindahan kalornya relative besar. Adapun ciri-ciri Kondensor jenis pipa ganda adalah sebagai berikut:

- Konstruksi sederhana dengan harga yang memadai.
- Dapat mencapai kondisi yang super dingin karena arah aliran refrigerant dan air pendingin yang berlawanan.
- Penggunaan air pendingin relative kecil.

- Sulit dalam membersihkan pipa, harus menggunakan detergen.
 - Pemeriksaan terhadap korosi dan kerusakan pipa tidak mungkin dilaksanakan. Penggantian pipanya pun juga sulit dilakukan.
- c. *Evaporatif Condenser* (menggunakan kombinasi udara dan air sebagai cooling mediumnya).

Kombinasi dari kondensor berpendingin air dan kondensor berpendingin udara, menggunakan prinsip penolakan panas oleh penguapan air menjadi aliran udara menjadi kumparan kondensasi.

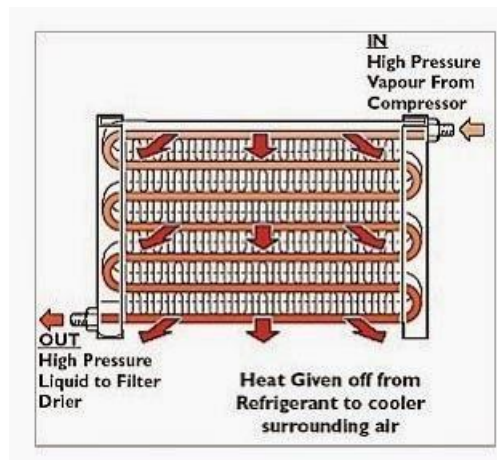


Gambar 2.8 *Evaporatif Condenser*

2. Menurut Jenis Desain

a. Berbelit-Belit

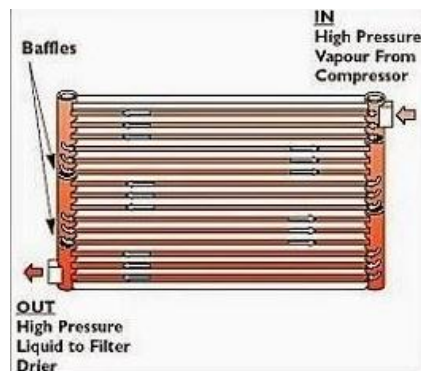
Jenis kondensor terdiri dari satu tabung panjang yang digulung berakhir dan kembali pada dirinya sendiri dengan sirip pendingin ditambahkan di antara tabung.



Gambar 2.9 Kondensor Berbelit-Belit

b. Arus Pararel

Desain ini sangat mirip dengan radiator aliran silang. Alih-alih bepergian refrigeran melalui satu bagian (seperti tipe serpentine) sekarang dapat melakukan perjalanan di berbagai bagian. Ini akan memberi luas permukaan yang lebih besar untuk udara ambien dingin untuk kontak.



Gambar 2.10 Kondensor Arus Pararel

3. Berdasarkan Klasifikasi Umum

a. *Surface Condenser*

Prinsip kerja surface Condenser Steam masuk ke dalam shell kondensor melalui steam inlet connection pada bagian atas kondensor. Steam kemudian bersinggungan dengan tube kondensor yang bertemperatur rendah sehingga temperatur



steam turun dan terkondensasi, menghasilkan kondensat yang terkumpul pada hotwell.

Temperatur rendah pada tube dijaga dengan cara mensirkulasikan air yang menyerap kalor dari steam pada proses kondensasi. Kalor yang dimaksud disini disebut kalor laten penguapan dan terkadang disebut juga kalor kondensasi (heat of condensation) dalam lingkup bahasan kondensor. Kondensat yang terkumpul di hotwell kemudian dipindahkan dari kondensor dengan menggunakan pompa kondensat ke exhaust kondensat. Ketika meninggalkan kondensor, hampir keseluruhan steam telah terkondensasi kecuali bagian yang jenuh dari udara yang ada di dalam sistem.

Udara yang ada di dalam sistem secara umum timbul akibat adanya kebocoran pada perpipaan, shaft seal, katup-katup, dan sebagainya. Udara ini masuk ke dalam kondensor bersama dengan steam. Udara dijenuhkan oleh uap air, kemudian melewati air cooling section dimana campuran antara uap dan udara didinginkan untuk selanjutnya dibuang dari kondensor dengan menggunakan injectors yang berfungsi untuk mempertahankan vacuum di kondensor.

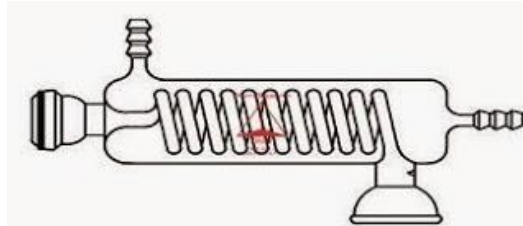
Untuk menghilangkan udara yang terlarut dalam kondensat akibat adanya udara di kondensor, dilakukan deaeration. Deaeration dilakukan di kondensor dengan memanaskan kondensat dengan steam agar udara yang terlarut pada kondensat akan menguap. Udara kemudian ditarik ke air cooling section dengan memanfaatkan tekanan rendah yang terjadi pada air cooling section. Air ejector kemudian akan memindahkan udara dari sistem.

Surface Condenser dibedakan menjadi dua jenis lagi, yaitu :

a) *Horizontal Condenser*



Air pendingin masuk kondensor melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa-pipa pendingin dan keluar pada bagian atas sedangkan arus panas masuk lewat bagian tengah kondensor dan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah kondensor.



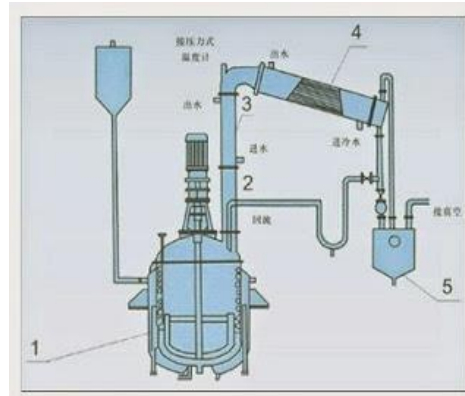
Gambar 2.11 *Horizontal Condenser*

Kelebihan Kondensor horizontal adalah :

1. Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga relai berukuran kecil dan ringan
2. Pipa pendingin dapat dibuat dengan mudah
3. Bentuk sederhana dan mudah pemasangannya
4. Pipa pendingin mudah dibersihkan

b) Vertical Condenser

Air pendingin masuk kondensor melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa-pipa pendingin dan keluar pada bagian atas. Sedangkan arus panas masuk lewat bagian atas kondensor dan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah kondensor.



Gambar 2.12 Vertical Condenser

Keterangan :

1. *Esterification reactor*
2. *Vertical fractional column*
3. *Vertical Condenser*
4. *Horizontal Condenser*
5. *Storage device*

Kelebihan Kondensor vertical adalah :

1. Harganya murah karena mudah pembuatannya.
2. Kompak karena posisinya yang vertikal dan mudah pemasangan
3. Bisa dikatakan tidak mungkin mengganti pipa pendingin, pembersihan harus dilakukan dengan menggunakan deterjen.

b. *Direct-Contact Condenser*

Direct-contact Condenser mengkondensasikan steam dengan mencampurnya langsung dengan air pendingin. *Direct-contact* atau *open Condenser* digunakan pada beberapa kasus khusus, seperti:

1. *Geothermal power plant.*
2. Pada *power plant* yang menggunakan perbedaan temperatur di air laut (*OTEC*)



Direct-contact Condenser dibagi menjadi dua jenis lagi, yaitu :

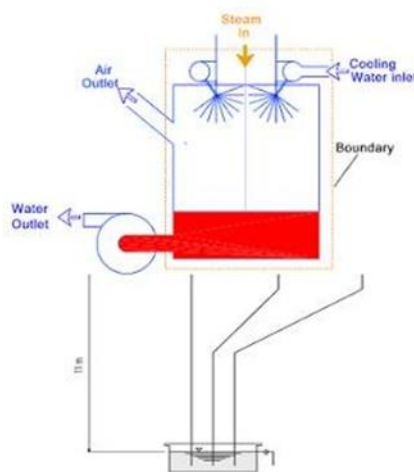
a) *Spray Condenser*

Pada *Spray Condenser*, pencampuran *steam* dengan air pendingin dilakukan dengan jalan menyemprotkan air ke *steam*. Sehingga *steam* yang keluar dari exhaust turbin pada bagian bawah bercampur dengan air pendingin pada bagian tengah menghasilkan kondensat yang mendekati *fase saturated*.

Kemudian dipompakan kembali ke *cooling tower*. Sebagian dari kondensat dikembalikan ke *boiler* sebagai *feedwater*. Sisanya didinginkan, biasanya di dalam *dry- (closed) cooling tower*. Air yang didinginkan pada *Cooling tower* disemprotkan ke *exhaust* turbin dan proses berulang.

b) *Barometric dan Jet Condenser*

Ini merupakan jenis awal dari kondensator. Jenis ini beroperasi dengan prinsip yang sama dengan *spray condenser* kecuali tidak dibutuhkannya pompa pada jenis ini. Vacuum dalam kondensator diperoleh dengan menggunakan prinsip head statis seperti pada *barometric Condenser*, atau menggunakan diffuser seperti pada *jet Condenser*.



Gambar 2.13 Jet Condenser

3. Penyebab Penurunan Kinerja kondensor

Kondensor sangat rentan terhadap gangguan-gangguan yang dapat menghambat kinerjanya, berikut masalah-masalah yang sering terjadi pada kondensor.

a. Non Condensable Gases (gas yang tidak dapat terkondensasi)

Gas ini dapat menyebabkan kenaikan pressure terhadap kondensor dan menyelimuti permukaan tube-tube yang dapat menghambat transfer panas antara uap dengan cooling water, sehingga gas-gas ini harus dikeluarkan atau dibuang dari dalam kondensor. Cara untuk mengeluarkan udara tersebut biasanya dilakukan dengan bantuan venting pump dan priming pump yang merupakan pompa vakum.

b. Terjadi Fouling terhadap kondensor

Fouling atau endapan sangat mungkin terjadi pada kondensor, endapan yang mengotori tube-tube kondensor ini berasal dari sumberpengambilan bahan baku air pendingin. Seperti yang kita ketahui tempat pengambilan air pendingin berasal dari laut dan kemungkinan besar air tersebut mengandung endapan-endapan kotoran yang ikut masuk dan mengendap pada tube-tube



kondensor, hal ini dapat menyebabkan menurunnya laju perpindahan panas pada kondensor, sehingga kualitas air pendingin sangat diperlukan agar mengurangi penyebab fouling pada kondensor. Cara untuk mengeluarkan kotoran tersebut biasanya dilakukan dengan cara:

- Backwash kondensor, yaitu dengan membalikkan arah aliran air pendingin dengan tujuan membuang kotoran yang masuk ke dalam *waterbox inlet* yang menghalangi proses perpindahan panas pada kondensor, proses ini dilakukan dengan cara membalikkan arah aliran inlet dan outlet.
- *Ball Cleaning*, proses pembersihan dengan cara ini dapat dilakukan dengan bola sebagai alat untuk membersihkan tube kondensor. Cara kerjanya yaitu bola akan dimasukkan pada inlet mengikuti aliran kondensor dan keluar pada *waterbox outlet*.

II.2.5. Perhitungan

a. Neraca Panas

$$Q = W \times C_p \times (T_1 - T_2) = w \times c_p (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

Q = Kalor jenis (Btu/hr)

W = laju alir fluida panas (lb/hr)

w = laju alir fluida dingin (lb/hr)

C_p = Kapasitas panas fluida panas (Btu/lb °F)

c_p = Kapasitas panas fluida dingin (Btu/lb °F)

T₁ = Temperatur fluida panas masuk (°F)

T₂ = Temperatur fluida panas keluar (°F)

t₁ = Temperatur fluida dingin masuk (°F)

t₂ = Temperatur fluida dingin keluar (°F)



b. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

$$\text{MTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \right)} \dots\dots\dots(2)$$

c. Flow Area

- Shell side $a_s = ID \times C'' \times B / (144 \times PT) \dots\dots\dots(3)$

Dimana :

ID = Inside Diameter (in)

C'' = Jarak antara tube (in)

B = Jarak Baffle (in)

PT = Tube Pitch (in)

- Tube side $a_t = NT \times a't / (144 \times n) \dots\dots\dots(4)$

Dimana :

NT = Jumlah tube

a't = Internal area (Dari tabel 10 Kern)

n = Jumlah tube passes

d. Kecepatan Massa

- Shell side

$$G_s = W / a_s \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

W = Laju alir fluida yang melewati shell (lb/hr)

- Tube side

$$G_t = w / a_t \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

W = Laju alir fluida yang melewati tube (lb/hr)

e. Reynold Number

- Shell side

$$\text{Res} = D_e \times G_s / \mu \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:



D_e = Equivalent diameter (ft) (Fig.28 Kern)

G_s = Kecepatan massa (lb/hr.ft²)

μ = Viskositas fluida pada suhu t_c

• Tube side $Re_t = D \times G_t / \mu$(8)

Dimana:

D = Inside diameter (ft) Tabel 10 Kern)

G_t = Kecepatan massa (lb/hr.ft²)

μ = Viskositas fluida pada suhu t_c

f. Heat Transfer Factor

- Shell side

Nilai (JH) untuk sisi shell dapat diketahui dari Fig.28 Kern

- Tube side

Nilai (JH) untuk sisi tube dapat diketahui dari Fig.24 Kern

g. Thermal Function Pada tiap suhu

$(c \times \mu/k)^{1/3}$(9)

h. Outside film Coefficient (h_o) dan Inside film coefficient (h_i)

- Shell side

$h_o = jH \frac{k}{D_e} \times \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} \phi_s$ (10)

- Tube side

$h_{io} = jH \frac{k}{D_e} \times \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} \phi_t$(11)

$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} \times \frac{ID}{OD}$ (12)

Dimana :

h_o = Outside film coefficient (Btu/hr.ft °F)

h_{io} = Inside film coefficient (Btu/hr.ft °F)

i. Tube Wall Temperature, t_w

Temperatur dinding rata-rata tube dapat dihitung dengan temperature kalorik, jika diketahui nilai koefisien perpindahan panas fluida shell



dan tube pada kondisi operasi sedang berlangsung.

$$t_w = t_c + \frac{h_o/\phi_s}{\frac{h_{io}}{\phi_t} + \frac{h_o}{\phi_s}} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

t_w = temperature dinding tube ($^{\circ}F$)

k. Clean Overall Coefficient, U_c

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

U_c = Overall heat transfer coefficient (Btu/hr.ft² $^{\circ}F$)

l. Dirty Overall Coefficient, U_D

$$A = NT \times a'' \times L \dots\dots\dots(15)$$

Dimana :

A = Heat Transfer surface (ft²)

NT = Jumlah tube

a'' = luas area (ft² /linft²), (tabel 10 Kern)

L = Panjang tube

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t} \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

U_D = Overall heat transfer coefficient (Btu/hr.ft² $^{\circ}F$)

m. Dirt Factor, R_d

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

R_d = Fouling Factor (hr.ft² . $^{\circ}F$ /Btu)

n. Pressure Drop

- Shell side

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times D_s \times N + 1}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times s \times \phi_s} \dots\dots\dots(18)$$



Dimana :

ΔP_s = Total Pressure Drop pada shell (psi)

F = Friction factor shell (ft² /in²) (Fig.26 Kern)

G_s = Kecepatan massa (lb/hr.ft²)

s = Spec. gravity

N+1 = jumlah lintasan aliran melalui baffle

- Tube side

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_s^2 \times L \times n}{5,22 \times 1010 \times D \times s \times \theta t} \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

ΔP_t = Total Pressure Drop pada tube (psi)

F = Friction factor tube (ft² /in²) (Fig.26 Kern)

G_s = Kecepatan massa (lb/hr.ft²)

s = Spec. gravity

n = jumlah pass tube

$$\Delta P_r = \frac{4 \times n}{s} \times \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(20)$$

Dimana :

ΔP_r = Return Pressure Drop pada tube (psi)

V² = Velocity head (psi)

2g_s = Spec. Gravity

Maka :

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \dots\dots\dots(21)$$



II.2.6 Pembahasan

Suhu keluar tanpa jaket pendingin	478.43 °K
Panas penguapan	71705340 kj/jam
Panas reaksi	-306460,4 kj/jam
Kebutuhan pendingin	2552833,0214 kg/jam
Kebutuhan air pendingin	60781,7386 kg/jam

Tabel 2.1 Hasil Perhitungan Reaktor R-5401

Shell	Kesimpulan	Tube
225,10	h outside BTU/(h-ft²-F)	2563
U_c	206,9242	Btu / hr ft ² F
U_D	150	Btu / hr ft ² F
R_d	0,00183	hr ft ² F / Btu

Tabel 2.2 Hasil Perhitungan Kondensor E-5301 dengan Data Perancangan

Pada perhitungan desain alat reaktor didapat besarnya suhu yang keluar tanpa jaket pendingin yaitu 478,43 °k. Kemudian mencari perhitungan panas penguapan sehingga diperoleh untuk panas penguapan dialat reaktor sebesar 71705340 kj/jam. Selanjutnya mencari panas reaksi maka diperoleh untuk panas reaksi sebesar -306460 kj/jam, sehingga untuk kebutuhan pendingin didapatkan sebesar 2552833,0214 kg/jam dan untuk massa air pendingin didapatkan sebesar 60781,7386 kg/jam.

Pada perhitungan data manual alat kondensor didapat besarnya koefisien perpindahan panas bagian shell (h_o) sebesar 225,10 Btu/hr.ft².°F dan pada bagian tube (h_{io}) sebesar 2563 Btu/hr.ft².°F. Pada hasil perhitungan juga diperoleh nilai koefisien perpindahan panas bersih (U_c) sebesar 206,9242 Btu/hr.ft².oF. Dan besarnya koefisien overall perpindahan panas design (U_D) sebesar 150 Btu/hr.ft².oF. Besarnya nilai fouling factor (R_d) didapat 0,00183 hr.ft².oF/Btu.

Fouling factor atau dirt factor (R_d) merupakan hambatan perpindahan



panas yang disebabkan karena adanya endapan-endapan (scaling) dari larutan amonium sulfat yang terbentuk dalam kondensor ketika pemanasan berlangsung. Fouling terjadi ketika fluida berinteraksi dengan material, sehingga beberapa partikel dari fluida akan mengendap pada permukaan kondensor. Endapan ini akan terakumulasi dan menurunkan proses perpindahan panas. Hal ini mengakibatkan konsumsi energi pada pompa ataupun kompresor menjadi lebih tinggi. Fouling juga dapat menyebabkan pengurangan cross sectional area (luas penampang melintang) dan meningkatkan pressure drop sehingga dibutuhkan energi ekstra. Faktor yang mempengaruhi besarnya nilai fouling antara lain suhu permukaan, kecepatan aliran fluida, dan jenis minyak fluida. Efisiensi kondensor semakin menurun dan biaya yang dibutuhkan semakin besar karena perlu dilakukan pembersihan fouling. Dalam perhitungan didapat R_d design perancangan sebesar $0,00183 \text{ hr.ft}^2.\text{°F/Btu}$ dan nilai R_d design sesuai dengan nilai R_d ketetapan yakni $0,001\text{-}0,002 \text{ hr.ft}^2.\text{°F/Btu}$. Hal ini menunjukkan bahwa beban pengotor (scaling) pada kondisi actual tidak melebihi batas kemampuan alat, sehingga pertukaran panas pada alat masih efisien untuk dioperasikan.