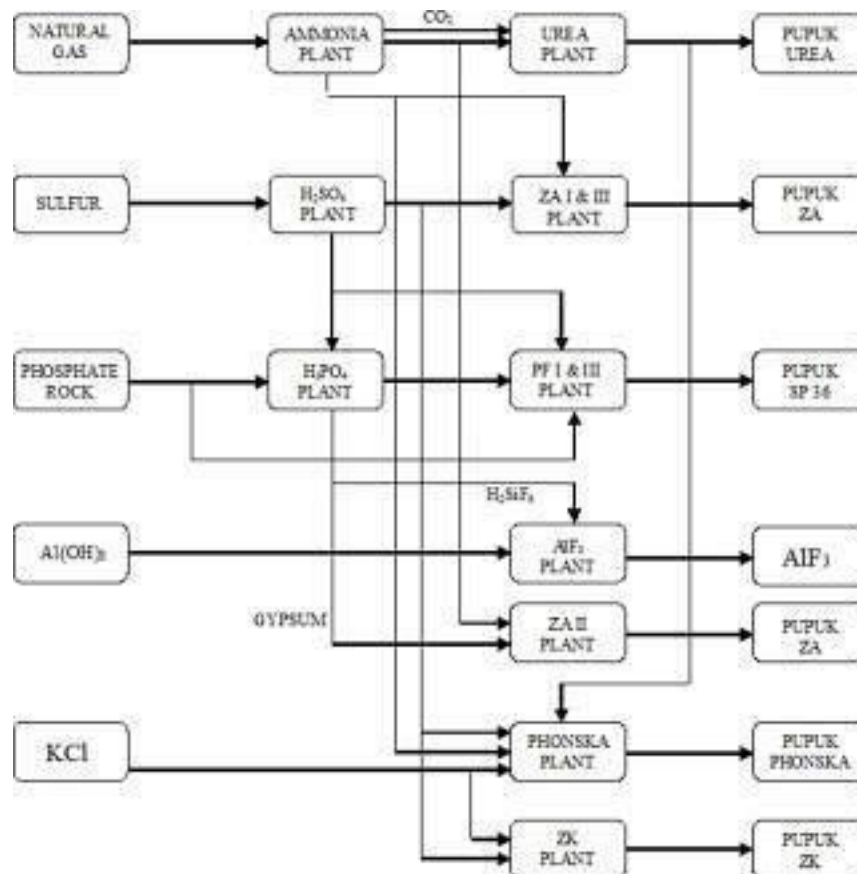


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Uraian Proses

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



Gambar II.1 Alur Proses Produksi PT Petrokimia Gresik



II.1.1. Unit Produksi I

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

1. Pabrik Amonia

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

2. Pabrik Urea

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

3. Pabrik ZA I

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

4. 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





II.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
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 K_2SO_4 atau ZK

- Tahun : 2005
Kapasitas : 10.000 ton/tahun
Bahan baku : H_2SO_4 dan KCl

II.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 (H_3PO_4)
Tahun berdiri : 1985
Kapasitas produksi : 200.000 ton/tahun
Bahan baku : *Phospate Rock*
2. Pabrik Asam Sulfat II Tahun berdiri 1985
Kapasitas produksi : 550.000 ton/tahun
Bahan baku : Belerang, H_2O
3. Pabrik ZA II
Tahun berdiri : 1985





Kapasitas produksi : 250.000 ton/tahun

Bahan baku : Amoniak, Asam fosfat, dan CO₂

II.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 : 169000 ton/tahun (100% P₂O₅)

Konfigurasi Proses : HDH (Hemi-dihydrate)

2. Pabrik Asam Sulfat (SA Plant)

Kapasitas Produksi : 481000 ton/tahun (100% H₂SO₄)

Konfigurasi Proses : Double Contact Double Absorber

3. Pabrik Purified Gypsum (GP Plant)

Kapasitas Produksi : 520000 ton/tahun

Konfigurasi Proses : Purifikasi





II.2. Uraian Tugas Khusus

II.2.1. Latar Belakang

Bahan baku utama dalam pembuatan asam fosfat adalah batuan phosphate dan asam sulfat. Selain menghasilkan asam fosfat, pabrik asam fosfat juga menghasilkan produk samping berupa gypsum dan H_2SiF_6 . Proses produksi asam fosfat di pabrik PT. Petrokimia Gresik terdiri dari tahap handling, tahap grinding, tahap reaksi hemihydrate, tahap filtrasi, tahap recovery, dan tahap pemekatan. Tahap – tahap tersebut berperan penting untuk mencapai rate produksi yang paling optimal. Untuk mendapatkan kadar P_2O_5 sebesar 54% maka proses yang paling penting adalah proses pemekatan.

Pada proses pemekatan terjadi kenaikan kadar P_2O_5 dari $\pm 40\%$ menjadi asam fosfat pekat dengan kadar P_2O_5 sebesar 54%. Bagian dalam proses pemekatan konsentrasi ini dibagi menjadi 3 yaitu penguapan (Evaporasi), pendinginan (Cooling Unit), dan penangkapan gas fluorine (Flourine Scrubber). Tahap yang terjadi adalah umpan berupa H_3PO_4 encer dari filter 1 masuk melewati alat Heater (E-2501). Pada alat Heater, H_3PO_4 dipanaskan dengan menggunakan steam. Kemudian H_3PO_4 yang telah dipanaskan akan masuk ke alat vaporizer (D-2501). Produk bawah yang keluar dari vaporizer adalah H_3PO_4 pekat (54%), sedangkan produk atasnya yang terdiri dari air, sedikit H_3PO_4 , dan fluorine dalam fasa gas dialirkan menuju alat mist separator untuk mendapatkan produk berupa gas fluorine.

Pada proses penangkapan gas fluorine dalam unit konsentrasi, guna untuk mengkondensasikan serta mensirkulasikan gas dan uap air yang membentuk larutan asam fluosilikat (H_2SiF_6). Tahapan yang terjadi pada proses penangkapan gas fluorine adalah gas dan uap air yang merupakan produk atas dari vaporizer (D-2501) melewati cyclonic separator (D-2502), kemudian masuk ke fluorine scrubber (D-2541) dimana sebagian besar gas fluorine akan tertangkap dengan menggunakan proses water. Senyawa fluorine yang tertangkap akan membentuk larutan asam fluosilikat (H_2SiF_6), kemudian dikirim ke fluorine recovery unit. Selanjutnya sisa uap dari fluorine





scrubber (D-2541) masuk ke vacuum system yang terdiri dari 2 condenser dan 2 steam ejector, lalu mengkondensasikan sisa uap tersebut menjadi hot water yang akan disirkulasikan ke cooling tower untuk pendinginan dan penggunaan kembali sebagai circulation water.

Untuk mengetahui kelayakan operasi alat Condenser dalam proses penangkapan gas fluorine pada unit konsentrasi maka diperlukan adanya evaluasi. Pada evaluasi ini dapat dilakukan terhadap nilai koefisien bersih menyeluruh (U_c), Overall Design coefficient of heat transfer (U_d), Fouling Factor (R_d) dan Pressure Drop.

II.2.2. Tujuan

Adapun tujuan dari tugas khusus ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa dan mengevaluasi kinerja dari alat Condensor E-2313 dalam fluorine scrubber yang terdapat pada pada unit konsentrasi produksi asam fosfat Departemen Produksi IIIB.
2. Mengetahui besarnya nilai koefisien bersih menyeluruh (U_c), nilai Overall Design Koefisien perpindahan panas (U_d), fouling factor (R_d) dan pressure drop (ΔP) pada Condensor E-2313.

II.2.3. Manfaat

Dari analisis kuantitatif terhadap condensor E-2313 pada pabrik Asam Fosfat, diharapkan dapat diketahui performa dari condensor tersebut dan dapat dijadikan referensi untuk mengoptimalkan operasi pada condensor.

II.2.4. Tinjauan Pustaka

A. 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 (Pangestu, 2020).

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 ditoleransi selama operasi kondensor (Diby, 2009).

B. 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 mediumnya*).

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





tanpa kehilangan air.



Gambar II.2 Air Cooled Condenser

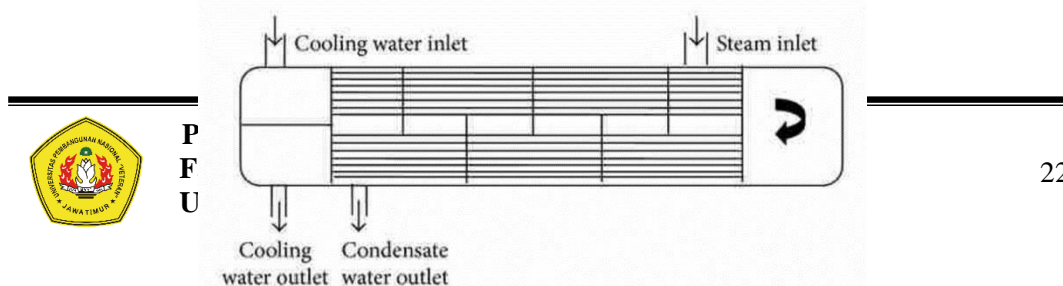
b. *Water Cooled Condenser* (menggunakan air sebagai cooling mediumnya).

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 mengalir 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.



Gambar II.3 *Shell and Tube Condenser*

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. Ciri-ciri kondensor Tabung dan Pipa adalah :

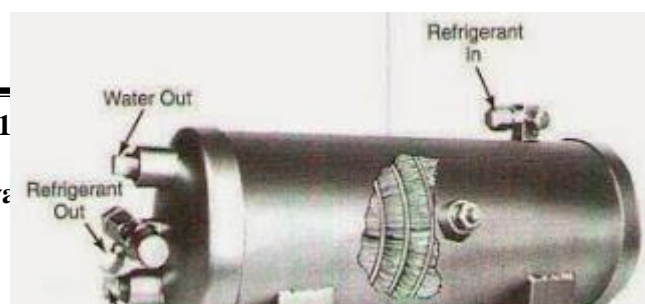
- Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga ukurannya relatif lebih kecil dan ringan.
- Pipa dapat dibuat dengan mudah.
- Bentuk yang sederhana dan mudah pemasangannya.
- Pipa pendingin mudah dibersihkan.

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*).



-1

wa

3

Gambar II.4 *Shell and Coil Condenser*

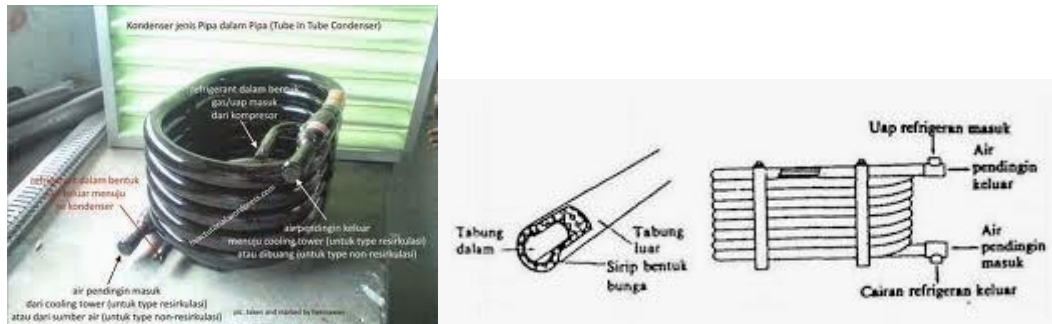
Adapun cirri-ciri Kondensor tabung dan koil sebagai berikut :

- 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.



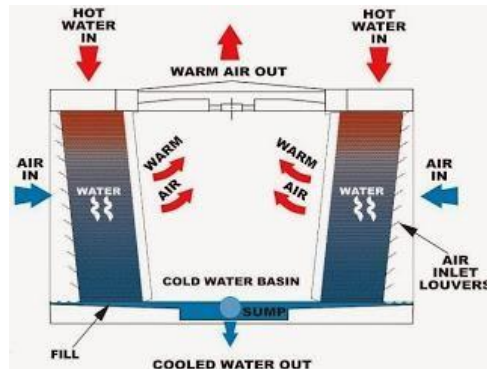
Gambar II.5 *Tube and Tubes Condenser*

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 cirri-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* (menggunkan 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.

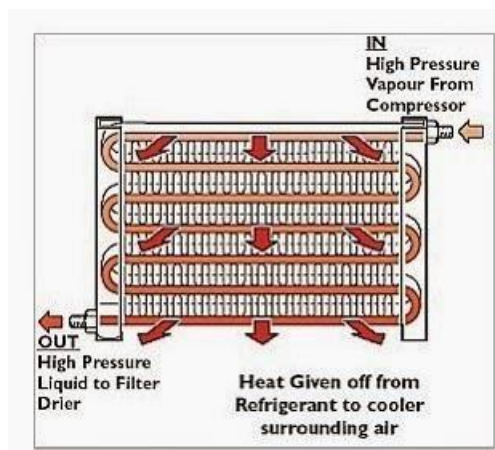


Gambar II.6 Evaporatif Condenser

2. Menurut Jenis Desain

a. Berbelit-Belit

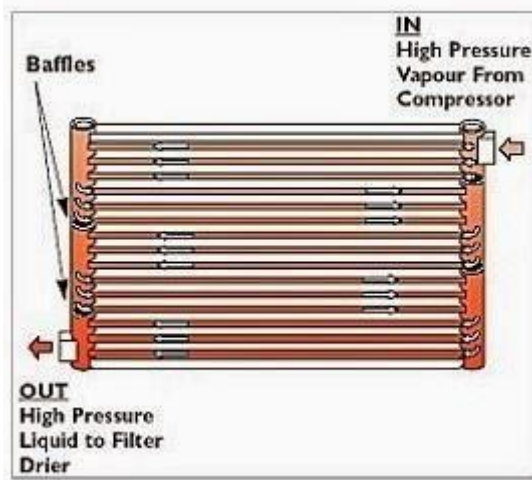
Jenis kondensator terdiri dari satu tabung panjang yang digulung berakhir dan kembali pada dirinya sendiri dengan sirip pendingin ditambahkan di antara tabung.



Gambar II.7 Kondensator 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 ambient dingin untuk kontak.



Gambar II.8 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



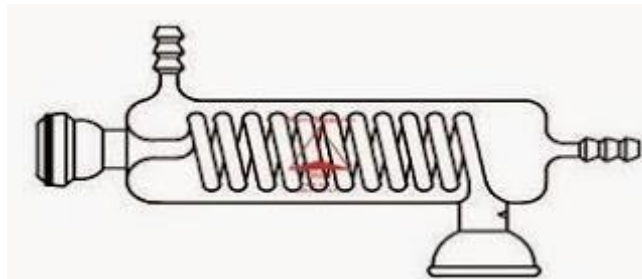
kondensor dengan menggunakan air ejectors yang berfungsi untuk mempertahankan vacuum di kondensor.

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 II.9 *Horizontal Condenser*

Kelebihan Kondensor horizontal adalah :

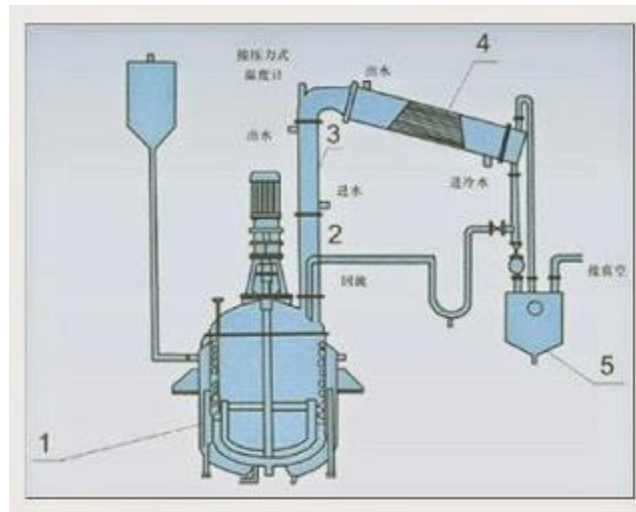
1. Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga relatif berukuran kecil dan ringan
2. Pipa pendingin dapat dibuat dengan mudah
3. Bentuk sederhana dan mudah pemasangannya
4. Pipa pendingin mudah dibersihkan

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 II.10 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 :

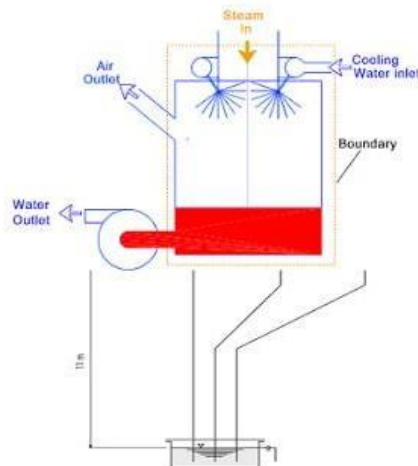
a) ***Spray Condenser***

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



Gambar II.11 *Jet Condenser*

(Putra, 2021)



Memupuk Kesuburan, Menebar Kemakmuran

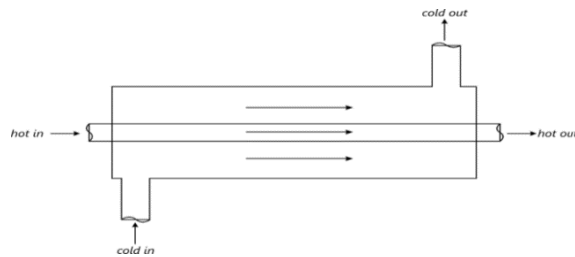
**PETROKIMIA
GRESIK**

**LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PT PETROKIMIA GRESIK
DEPARTEMEN PRODUKSI IIIB**

C. Arah Aliran Fluida Pada Alat Penukar Panas

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

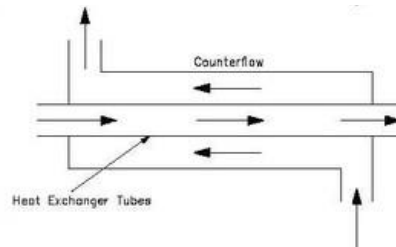
Pada tipe aliran ini fluida panas dan fluida dingin masuk pada ujung penukar panas yang sama dan kedua fluida mengalir searah menuju ujung penukar panas yanglain.



Gambar II.12 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 arahberlawanan menuju ujung penukar panas keluar.



Gambar II.13 Arah aliran counter current flow

D. Jenis-jenis Aliran Fluida

1. Aliran Laminer

Aliran laminar 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) dan mempunyai batasan-batasan yang berisi aliran fluida. Aliran laminar adalah aliran fluida tanpa arus turbulent (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 aliranberpindah 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 vulkanis 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)

E. Penyebab Penurunan Kinerja kondensor

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

1. Non Condesable 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 primming pump yang merupakan pompa vakum.

2. Terjadi Fouling Terhadap Kondensor

Fouling atau endapan sangat mungkin terjadi pada kondensor, endapan yang mengotori tube-tube kondensor ini berasal dari sumber pengambilan 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*.

(Putra, 2021)

II.2.5. Perhitungan

A. Menghitung Material dan Heat Balance

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T = m \cdot C_p \cdot (T1 - T2) = m \cdot c_p \cdot (t2 - t1) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Q = Panas yang diserap atau diberikan (Btu/hr)



m = massa (lb/hr)

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

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

T_1 = Temperatur fluida panas masuk (°F)

T_2 = Temperatur fluida panas keluar (°F)

t_1 = Temperatur fluida dingin masuk (°F)

t_2 = Temperatur fluida dingin keluar (°F)

B. Menghitung ΔT LMTD (Log Mean Temperature Difference)

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

ΔT LMTD = Beda Temperatur secara logaritmik rata – rata(°F)

C. Menghitung Suhu Caloric (T_c dan t_c)

$$T_c = \frac{1}{2} (T_1 + T_2) \dots\dots\dots(3)$$

$$t_c = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

T_c = Temperatur Caloric Fluida Panas (°F)

t_c = Temperatur Caloric Fluida Dingin (°F)

D. Dirty Overall Coefficient (U_D) dan Jumlah Pipa

$$A = \frac{Q}{U_D \text{ trial} \Delta t} \dots\dots\dots(5)$$

$$Nt = \frac{A}{a \cdot l} \dots\dots\dots(6)$$

$$U_D \text{ koreksi} = \frac{Nt}{Nt \text{ standard}} \cdot U_D \text{ trial} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

A = Heat Transfer Surface (ft²)

U_D = koefisien perpindahan panas keseluruhan dalam keadaan terpakai
(Btu/jam.ft².°F)

Nt = jumlah tube



Nt standard = jumlah tube yang didapatkan dari Tabel 9 Kern

a'' = surface per lin ft (ft²/ft) didapatkan dari Tabel 10 Kern

l = panjang tube (ft)

E. Flow area

- Shell side

$$a_s = \frac{C'' \cdot ID_s \cdot B}{P_T \cdot 144} \dots \dots \dots (8)$$

- Tube side

$$a_p = \frac{a't \cdot N}{n \cdot 144} \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

ID_s = Inside Diameter (in)

C'' = jarak antara tube (in)

B = jarak baffle (in)

P_T = Tube Pitch (in)

n = jumlah tube passes

a't = Internal area didapat dari Tabel 10 Kern

F. Kecepatan Massa

- Shell side

$$G_s = \frac{M}{a_s} \dots \dots \dots (10)$$

- Tube side

$$G_t = \frac{m}{a_t} \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

G_s = kecepatan massa dalam shell side (lb/hr.ft²)

G_t = kecepatan massa dalam tube side (lb /hr.ft²)

M = laju alir fluida yang melewati shell (lb/hr)

m = laju alir fluida yang melewati tube side (lb/hr)

G. Menghitung Reynold Number



- Shell side

$$NRe = d_e \times G_s / \mu \times 2,42 \dots\dots\dots(12)$$

- Tube side

$$NRe = d_i \times G_t / \mu \times 2,42 \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan:

d_e = equivalent diameter (ft) didapat dari Figure 28 Kern

μ = viskositas fluida didapatkan dari Figure 14 atau Figure 15 Kern

H. 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.

$$t_w = t_c + \frac{h_o}{(h_o+h_{i_o})} (T_c - t_c) \dots\dots\dots(14)$$

$$t_f = \frac{T_c + t_w}{2} \dots\dots\dots(15)$$

$$G' = \frac{M}{\pi \cdot d_o \cdot N t} \dots\dots\dots(16)$$

$$G'' = \frac{M}{l \cdot N t^{2/3}} \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan:

t_w = temperature dinding tube (°F)

I. Outside film Coefficient (h_o) dan Inside film Coefficient (h_i)

- Shell side

h_o didapatkan dari trial sesuai dengan range type kodensor vertical atau horizontal.

kondensor vertical = $h_o = 150 - 300 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$

kondensor horizontal = $h_o = 90 - 150 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$

- Tube side

$$v = \frac{G t}{3600 \rho} \dots\dots\dots(18)$$

nilai v yang baik hasilnya 4 – 6 ft/detik

maka dari nilai v didapatkan harga h_i pada gambar 21 beserta faktor





koreksi, sehingga:

$$h_{i_o} = h_i \left(\frac{d_i}{d_o} \right) \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan:

d_i = inside diameter (in)

d_o = outside diameter (in)

J. Clean Overall Coefficient (U_c)

$$U_c = \frac{h_i \cdot h_{i_o}}{h_i + h_{i_o}} \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan:

U_c = Overall heat transfer coefficient (BTU/hr/ft².°F)

K. Fouling Factor (Faktor Kekotoran Pipa Terpakai) (R_d)

$$R_d \text{ koreksi} = \frac{U_c - U_{D \text{ koreksi}}}{U_c \cdot U_{D \text{ koreksi}}} \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan:

R_d = Fouling factor (hr.ft².°F/ Btu)

R_d hitung < R_d ketentuan = under design

R_d hitung > R_d ketentuan = over design

L. Evaluasi ΔP

- Shell side

$$S_g = \frac{\rho}{62,5} = \frac{144 \cdot \rho \cdot BM}{1545 \cdot (460 + T_c) \cdot 62,5} \dots\dots\dots (22)$$

$$\Delta P_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{f \cdot G_s^2 \cdot ID_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot d_e \cdot S_g \cdot \phi t} \dots\dots\dots (23)$$

- Tube side

$$\Delta P_l = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot d_i \cdot S_g \cdot \phi} \dots\dots\dots (24)$$

$$\Delta P_n = \frac{4n}{s} \left(\frac{v^2}{144} \right) \frac{\rho}{2 \cdot g_c} \dots\dots\dots (25)$$

Maka:

$$\Delta P_t = \Delta P_l + \Delta P_n \dots\dots\dots (26)$$

Keterangan:



ΔP_s = Total Pressure Drop pada shell (psi)

ΔP_t = Total Pressure Drop pada tube (psi)

ΔP_n = Return Pressure Drop pada tube (psi)

f = Friction factor shell (ft^2/in^2) (Fig.26 Kern)

G_s = Kecepatan massa ($\text{lb}/\text{hr}.\text{ft}^2$)

G_t = Kecepatan massa ($\text{lb}/\text{hr}.\text{ft}^2$)

S_g = Spec. gravity

$N+1$ = jumlah lintasan aliran melalui baffle

n = jumlah pass tube

$\frac{v^2}{2.g_c}$ = Spec. gravity

II.2.6. Pembahasan

Tabel II.1 Hasil Perhitungan Kondensor E-2313 dengan Data Sheet 14 Mei 2020

Shell	Kesimpulan	Tube
192	h outside BTU/(h-ft²-F)	1100
2	Pressure drop Allowable (psi)	10
0,6697	Pressure drop calculated (psi)	9,541
U_C	158,5075	Btu / hr ft ² F
U_D	84,7059	Btu / hr ft ² F
R_d	0,005497	hr ft ² F / Btu

Pada perhitungan data manual atau sheet tanggal 14 Mei 2020 didapat besarnya koefisien perpindahan panas bagian shell (h_o) sebesar $192 \text{ Btu}/\text{hr}.\text{ft}^2.\text{°F}$ dan pada bagian shell (h_{io}) sebesar $908,6651 \text{ Btu}/\text{hr}.\text{ft}^2.\text{°F}$. Didapat nilai pressure drop pada shell kondensor sebesar $0,6697 \text{ psi}$. Pressure drop pada shell yang didapat tidak melebihi dari pressure drop yang diizinkan yaitu 2 psi . Pressure drop yang diperoleh dari tube heat exchanger sebesar $9,541 \text{ psi}$. Nilai pressure drop tube heat exchanger tidak melebihi dari pressure drop yang diizinkan yaitu 10 psi . Pada hasil

perhitungan juga diperoleh nilai koefisien perpindahan panas bersih (U_c) sebesar 158,5075 Btu/hr.ft².°F. Dan besarnya koefisien overall perpindahan panas design (U_D) sebesar 84,7059 Btu/hr.ft².°F. Besarnya nilai fouling factor (R_d) didapat 0,005497 hr.ft².°F/Btu.

Fouling factor atau dirt factor (R_d) merupakan hambatan perpindahan panas yang disebabkan karena adanya endapan-endapan (scaling) dari larutan asam fosfat 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 tanggal 14 Mei 2020 sebesar 0,005497 hr.ft².°F/Btu dan nilai R_d design kurang dari nilai R_d ketetapan yakni 0,003 hr.ft².°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.

Menurut (Kern, 1983) nilai *pressure drop* akan semakin besar dengan bertambahnya fouling factor pada kondensor. Nilai *pressure drop allowable* menunjukkan penurunan tekanan maksimal yang diperbolehkan dalam kondensor apabila suatu fluida melaluinya. *Pressure drop* yang diizinkan pada tube sebesar 10 psi dan pada shell sebesar 2 psi. Dari hasil perhitungan nilai *pressure drop* pada data design tanggal 14 Mei 2020 dengan nilai *pressure drop shell* ΔP_s 0,6697 psi, nilai *pressure drop tube* ΔP_t 9,541 psi terhitung pada *pressure drop tube* masih memenuhi standart karena nilainya masih dibawah dari nilai *pressure drop* yang diizinkan.